



# Impact du traitement thermique sur les perceptions sensorielles et les préférences des consommateurs pour les fromages à pâte persillée : cas de la fourme d'Ambert

Cécile C. Bord

## ► To cite this version:

Cécile C. Bord. Impact du traitement thermique sur les perceptions sensorielles et les préférences des consommateurs pour les fromages à pâte persillée : cas de la fourme d'Ambert. Sciences agricoles. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2015. Français. NNT : 2015CLF22567 . tel-01276666

**HAL Id: tel-01276666**

**<https://theses.hal.science/tel-01276666>**

Submitted on 15 Apr 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**UNIVERSITE BLAISE PASCAL**

**UNIVERSITE D'AUVERGNE**

N° D. U. : 2000567

ANNEE : 2015

***ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA VIE,  
SANTÉ, AGRONOMIE, ENVIRONNEMENT***

N° d'ordre : 664

# **Thèse**

---

**IMPACT DU TRAITEMENT THERMIQUE SUR LES  
PERCEPTIONS SENSORIELLES ET LES PREFERENCES DES  
CONSOMMATEURS POUR LES FROMAGES A PATE  
PERSILLEE : CAS DE LA FOURME D'AMBERT**

---

Présentée à l'Université Blaise Pascal  
pour l'obtention du grade de

**DOCTEUR D ' UNIVERSITE**

***Spécialité : Sciences des Aliments***

**Soutenue le 17 avril 2015**

**Cécile BORD**

Directrice de thèse : Annie Lebecque

Président :	M. Michaud Philippe	Professeur, Université Blaise Pascal, Clermont
Membres :	Mme Lebecque Annick	Professeur, VetAgro Sup, Clermont
	M. Rason Jonathan	Sensory Team Leader, Danone Nutricia Research, Pays-Bas
Rapporteurs :	Mme Issanchou Sylvie	Directrice de Recherche, INRA, Dijon
	Mme Mehinagic Emira	Directrice de Recherche, ESA, Angers
	M. Gaucheron Frédéric	Chargé de Recherche, INRA, Rennes

**Unité de Recherche CALITYSS  
VetAgro Sup Campus agronomique de Clermont  
89, Avenue de l'Europe – F-63370 LEMPDES**



# Remerciements

Après ces quelques années de travail ponctuées de dégustations, d'analyses, de réunions, de réflexion, d'écriture, de fous rires, de hauts et de bas, et de la naissance de mon deuxième enfant, mon mémoire s'achève. Avant de le refermer, j'aimerais remercier toutes les personnes qui ont pris le temps de m'encourager et de me soutenir tout au long de ces années.

Je veux remercier très chaleureusement et très sincèrement, le Pr. Annick Lebecque, directrice de thèse, et de l'Unité de Recherche « Consommateurs, ALiments TYpiques Santé et Sécurité » (CALITYSS) au sein de l'établissement VetAgro Sup, qui m'a donné la chance de pouvoir faire cette thèse, qui m'a fait confiance et a cru en moi. Merci pour ses conseils scientifiques et pédagogiques, pour ces échanges dans la mise en place des protocoles, pour son aide dans la rédaction mais aussi pour son écoute, surtout dans les moments difficiles.

Je remercie les personnes ayant participé à mon comité de pilotage pour leur expertise et leur aide qui ont guidé mes choix dans l'avancée de mes travaux : Claire Sulmont-Rosset, chargée de Recherche à l'INRA de Dijon, Erwan Engel, directeur de Recherche (QuAPA) de l'INRA de Theix Abderrahmane Ait Kaddour et à Julie Mardon, maîtres de conférences en Sciences des Aliments à VetAgro Sup. J'adresse également mes remerciements à M. Lorrain, directeur de la société fromagère de Laqueuille, pour sa contribution à la réalisation de ce projet, pour sa connaissance technologique sur les fromages à pâte persillée et pour la mise à disposition des échantillons de fromages.

J'exprime aussi ma gratitude aux membres du jury, à Pr. Philippe Michaud, professeur et responsable du Département de Génie Biologique à Polytech, à Sylvie Issanchou, directrice de recherche à l'INRA de Dijon, à Emira Mehinagic, directrice du laboratoire de Recherche GRAPPE de l'ESA Angers, à Frédéric Gaucheron, chargé de Recherche à l'INRA de Rennes et à Jonathan Rason, responsable du pôle sensoriel chez Danone Nutricia Research.

J'aurais une pensée toute particulière, pour ma collègue Delphine, qui a grandement participé à la réalisation des analyses biochimiques et sensorielles, avec une mention spéciale « Beckman ». Je remercie également, Andréa, pour sa gentillesse et sa contribution dans la réalisation des tests consommateurs.

Sans oublier, toute l'équipe de l'unité de Recherche Calityss et plus particulièrement Corinne, Elise (pour son appui statistique et ses conseils), Catherine, Sylvie et Karine pour leur bonne humeur, leur joie de vivre et leur soutien quotidien. Et bien sûr, de chaleureux remerciements à Armel et Rafia, mes amies depuis mon arrivée à VetAgro Sup, pour leur appui de tous les jours et leurs amitiés. Merci également à Arlette, à Annabelle, à Jacques et à Colette ! Tout simplement merci!

Je remercie vivement mon jury de «dégustatrices» d'avoir participé à toutes les séances en ayant bien voulu s'adapter à toutes les conditions de dégustation, plus ou moins agréables selon les produits à évaluer, d'avoir été autant disponibles et motivées.

Enfin, je n'oublierais pas mes amis pour leur réconfort, leur soutien, leur amitié, ce qui m'a permis de tenir jusqu'au bout. Mes derniers remerciements seront dédiés à toute ma famille, à Olivier et à mes enfants, Gaëtane et Clément, ainsi qu'à mes parents et à mes beaux-parents qui m'ont permis de mener mon projet professionnel, de m'avoir soutenu et aussi supporté tout au long de ces années. Merci pour vos sourires.

# Valorisation des travaux

## Publications dans des revues à comité de lecture

- Sylvain Jacquot, Romdhane Karoui, Khaled Abbas, Annick Lebecque, **Cécile Bord** & Abderrahmane Aït-Kaddour (2014) Potential of Multispectral Imager to Characterize Anisotropic French PDO Cheeses: A Feasibility Study. *International Journal of Food Properties*, 18 (1).
- **Bord, C.** Guerinon, D., Lebecque A. (2015). Impact of heating on sensory diversity of French PDO blue cheeses. Relationships with gross composition. *Food Science and Technology International*. Soumis

## Communications par poster dans des congrès internationaux à comité de lecture

- **Bord, C.**, Guerinon, D., Lebecque, A. Perception of bitter taste and flavor under the influence of cooking conditions: a case study on PDO French Blue Cheese ». 7<sup>th</sup> NIZO Dairy Conference – 21 and 23 September, 2011, Papendal, The Netherlands.
- **Bord, C.**, Jacquot, S., Guerinon, D., Lebecque, A., Aït-Kaddour, A. Prediction of sensory parameters of Blue cheeses from multispectral imagery. Chimieométrie. 25 et 26 septembre 2013, Brest, France.
- **Bord, C.**, Miyatani, A., Guerinon, D., Lebecque, A. Consumers' preferences and taste perception toward raw and heated cheeses. Eurosense – 7-10 September, 2014, Danemark, The Netherlands.



## Résumé

Les fromages d'Appellation d'Origine Protégée (AOP) présentant un cahier des charges précis sont garants d'un savoir-faire, d'une tradition et d'un lien avec le terroir et sont également reconnus pour leurs qualités organoleptiques. Malgré une bonne implantation au niveau du marché et une consommation non négligeable, certains fromages AOP voient leurs ventes baisser. Pour dynamiser certains de ces fromages, notamment les fromages à pâte persillée, leur utilisation comme « fromages ingrédients » s'avérerait pertinente. Ce nouveau segment, très porteur pour les fromages industriels, consiste à les utiliser dans des préparations culinaires aussi bien à chaud qu'à froid. L'objectif des travaux de cette thèse est de réaliser d'une part un focus sur les propriétés sensorielles des fromages à pâte persillée AOP du Massif central, induites par le chauffage et plus particulièrement de la Fourme d'Ambert, en étudiant les fractions solubles de ces fromages, d'un point de vue biochimique et sensoriel, et d'autre part de connaître les préférences des consommateurs vis-à-vis des fromages à chaud.

Dans un premier temps, un screening sur le comportement à chaud de différentes catégories de fromages à pâte persillée a conduit à identifier des différences texturales et gustatives et de ce fait, à catégoriser les fromages selon leurs aptitudes culinaires. Ce positionnement sensoriel a ainsi permis de sélectionner un « fromage modèle » : la Fourme d'Ambert. Dans une seconde phase, l'étude des fractions solubles a confirmé sa contribution relative dans la perception gustative des fromages à pâte persillée. Toutefois, aucune différence sensorielle n'est observée sur les fractions suite au traitement thermique malgré quelques différences sur la teneur de certains composés sapides. Enfin, la dernière phase a consisté à identifier les préférences des consommateurs vis-à-vis de la Fourme d'Ambert à froid et à chaud. Quelle que soit la température, le fromage est bien apprécié par les consommateurs. La segmentation des consommateurs révèle des perceptions différentes selon trois groupes : un groupe avec des préférences pour des fromages très typés, à l'inverse, un groupe ayant une attirance pour les fromages ayant des saveurs moins prononcées et un dernier, axé sur les préférences des fromages à chaud. Corrélées aux profils sensoriels, aux commentaires libres des consommateurs et à leurs attentes, certaines variables sensorielles ou comportementales ont pu expliquer ces différences de préférences. Ces résultats montrent l'intérêt de l'usage de certains fromages à pâte persillée AOP en tant que « fromages ingrédients » présentant de bonnes aptitudes culinaires, par leurs propriétés fonctionnelles et gustatives. L'acceptation des fromages à chaud par les consommateurs renforce le fait que les fromages AOP peuvent être utilisés aussi bien à froid qu'à chaud, permettant ainsi l'innovation dans la filière.

**Mots-clés : Fromages à chaud, Fromages à pâte persillée AOP, Préférences des consommateurs, analyse sensorielle, fraction soluble**





## Liste des abréviations

3-AFC : Alternative forced choice  
 ASIC : Acid-Sensing Ion Channels  
 ACP : Analyse en Composantes Principales  
 AFD : Analyse Factorielle Discriminante  
 AFC : Analyse Factorielle des Correspondances  
 AFNOR : Association Française de Normalisation  
 ANOVA : Analyse de Variance  
 AOP : Appellation d'Origine Protégée  
 BET : Best Estimate Threshold  
 CAH : Classification Ascendante Hiérarchique  
 CNAOL : Conseil National des Appellations d'Origine  
 CNIEL : Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière  
 DTS : Dominance Temporelle des Sensations  
 ENaC : Epithelial Na Channel  
 INAO : Institut National des Appellations d'Origine  
 PTC : Phénylthiocarbamide  
 PROP : n-6-propylthiouracil  
 TRPV : transient receptor potential vanilloide  
 TRPM5 : Transient receptor potential cation channel (M member 5)



# TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	15
CHAPITRE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	19
1. Les fromages à pâte persillée.....	21
1.1. Origine et diversité .....	21
1.2. Caractéristiques technologiques des fromages à pâte persillée .....	23
1.2.1. La préparation du lait.....	23
1.2.2. La coagulation .....	24
1.2.3. L'égouttage .....	24
1.2.4. Le salage .....	24
1.2.5. Le piquage .....	26
1.2.6. L'affinage .....	26
1.3. Caractéristiques sensorielles et physico-chimiques des fromages à pâte persillée.....	32
2. Mécanismes de la perception sensorielle.....	34
2.1. Le sens des sens.....	34
2.2. La perception des molécules sapides.....	35
2.2.1. Organisation du système gustatif.....	36
2.2.2. Mécanismes de transduction des saveurs.....	36
2.3. La perception des molécules odorantes et aromatiques.....	38
2.4. Les seuils de perception des saveurs .....	39
2.5. Les interactions inter et intra-modalités sensorielles.....	43
2.5.1. Interactions texture-saveur.....	43
2.5.2. Interactions arôme-saveur .....	43
2.6. La flaveur des « fromages » .....	45
2.6.1. Les arômes .....	45
2.6.2. Les saveurs.....	46
2.6.3. La saveur salée.....	47
2.6.4. La saveur amère .....	47
2.6.5. La saveur acide .....	48
3. Impact du chauffage sur les perceptions sensorielles .....	49
3.1. Impact du chauffage sur les propriétés fonctionnelles .....	49
3.1.1. Le brunissement (browning).....	52
3.1.2. L'étalement à chaud (meltability).....	53
3.1.3. Le filant (stretchability) .....	54
3.1.4. L'exsudation de gras (oiling-off).....	54
3.2. Impact du chauffage sur les flaveurs .....	55

3.3. Synthèse.....	58
4. Le déterminisme des préférences .....	59
4.1. Les préférences alimentaires .....	59
4.2. Les préférences gustatives .....	60
4.3. Les préférences des consommateurs vis-à-vis des fromages à pâte persillée.....	61
5. Les méthodes d'évaluation sensorielle .....	63
5.1. Détermination des seuils de détection .....	63
5.2. Les méthodes analytiques .....	65
5.2.1. Les méthodes descriptives : le profil conventionnel.....	66
5.2.2. Les méthodes temporelles.....	68
5.3. Les méthodes hédoniques.....	70
5.3.1. Principe .....	70
5.3.2. Mesures de l'appréciation.....	70
5.3.3. Questionnaire de dégustation.....	70
5.3.4. Questionnaire d'attitude et de perception .....	72
CHAPITRE 2 : QUESTIONS DE RECHERCHE ET DEMARCHE EXPERIMENTALE .....	75
Déroulement des expérimentations : 3 étapes successives .....	79
1. Etape 1 : Typologie de la diversité sensorielle et caractérisation biochimique de 4 fromages à pâte persillée AOP du Massif central à froid et à chaud .....	79
2. Etape 2 : Impact du chauffage sur les perceptions sensorielles et gustatives des fromages entiers et des fractions hydrosolubles : évaluation sensorielle et chimique de ces fractions .....	80
3. Etape 3 : Impact du chauffage sur les préférences des consommateurs vis-à-vis des fromages à froid et à chaud.....	81
CHAPITRE 3 : CONSIDERATIONS METHODOLOGIQUES .....	83
1. Les produits .....	85
1.1. Choix des paramètres technologiques des fromages .....	85
1.2. Méthode d'extraction des fractions solubles et protéiques .....	87
1.2.1. Principe .....	87
1.2.2. Méthode d'extraction choisie.....	88
2. Eléments biochimiques à analyser.....	90
2.1. pH .....	90
2.2. Matière sèche.....	90
2.3. Matières grasses.....	91
2.4. Matières azotées .....	91
2.5. Dosage des chlorures.....	91
2.6. Dosage des minéraux.....	92
2.7. Dosage du phosphore .....	92
3. Sélection et entraînement du panel .....	92

3.1. Détermination des seuils de détection du panel.....	92
3.1.1. Mode opératoire.....	93
3.1.2. Résultats.....	94
3.2. Entraînement à la reconnaissance des saveurs dans différentes matrices.....	97
3.2.1. Mode opératoire.....	97
3.2.2. Résultats.....	98
3.2.3. Synthèse.....	100
4. Mise au point des conditions de préparation et de dégustation .....	101
4.1. Condition de préparation .....	101
4.1.1. Forme des échantillons de fromages à chaud .....	101
4.1.2. Choix du support.....	102
4.2. Sélection des températures de chauffage des fromages.....	102
4.2.1. Mesure du temps de fonte .....	102
4.2.2. Mesure du temps de ramollissement et d'étalement à différentes températures.....	103
4.2.3. Sélection des températures de chauffage à étudier .....	104
4.2.4. Condition de dégustation .....	107
4.3. Synthèse des conditions de préparation, de présentation et de chauffage sélectionnées .....	110
CHAPITRE 4 : IMPACT DU CHAUFFAGE SUR LES PERCEPTIONS SENSORIELLES DES FROMAGES A PATE PERSILLEE.....	111
Partie 1 : Typologie de la diversité sensorielle et caractérisation physico-chimique des quatre catégories de fromages à pâte persillée AOP à froid et à chaud.....	113
1. Objectifs et méthodologie.....	113
2. Résultats et discussion .....	114
3. Conclusion.....	117
Partie 2 : Impact du chauffage sur les perceptions sensorielles et gustatives des fromages entiers et des fractions hydrosolubles : évaluation sensorielle et chimique de ces fractions .....	141
1. Objectifs .....	141
2. Matériel et méthodes .....	142
2.1. Les fromages testés.....	142
2.2. Expérimentation 1 : Impact du chauffage sur les perceptions sensorielles de la Fourme d'Ambert .....	143
2.2.1. Profil sensoriel .....	143
2.2.2. Dominance Temporelle des Sensations (DTS).....	144
2.3. Expérimentation 2 : Impact du chauffage sur la libération des molécules sapides au niveau des fractions solubles.....	145
2.3.1. Extraction de la fraction soluble .....	145
2.3.2. Profil gustatif.....	145
2.3.3. Analyses physico-chimiques.....	146
2.3.4. Analyses statistiques .....	146

2.4. Résultats et Discussion : Expérimentation 1 .....	147
2.4.1. Description sensorielle des Fourmes d'Ambert selon les deux conditions de traitement – Approche globale et statique .....	148
2.4.2. Description dynamique des saveurs (DTS) selon les deux conditions de traitement : Application aux fromages jeunes .....	158
2.4.3. Conclusion .....	162
2.5. Résultats et discussion : Expérimentation 2 .....	164
2.5.1. Contribution des fractions solubles dans la perception gustative des fromages : Exemple des fromages SA à froid à 35 jours .....	164
2.5.2. Effet du chauffage sur les perceptions gustatives des fromages entiers et des fractions solubles du fromage SA.....	166
2.5.3. Effet du chauffage sur la composition biochimique des fromages entiers et des fractions solubles du fromage SA.....	168
2.5.4. Relation entre les perceptions gustatives et des éléments biochimiques de la fraction soluble SA en lien avec le traitement thermique.....	176
2.6. Conclusion.....	177
Partie 3 : Impact du chauffage sur la perception et les préférences des consommateurs vis-à-vis des fromages à froid et à chaud.....	179
1. Objectifs .....	179
2. Matériel et méthodes .....	180
2.1. Les fromages testés.....	180
2.2. Test consommateurs .....	180
2.2.1. Panel de consommateurs.....	180
2.2.2. Questionnaires .....	181
2.2.3. Déroulement et organisation des séances .....	181
2.3. Analyses statistiques.....	182
3. Résultats et discussion.....	184
3.1. Caractéristiques du panel.....	184
3.2. Usages et attentes des consommateurs vis-à-vis des fromages à froid et à chaud.....	185
3.3. Préférences globales des fromages à froid et à chaud et impact des saveurs sur les préférences des consommateurs .....	186
3.3.1. Appréciations visuelle et globale des fromages à froid et à chaud .....	186
3.3.2. Perceptions gustatives des fromages à froid et à chaud par les consommateurs .....	189
3.4. Détermination de classes de consommateurs selon leurs préférences .....	192
3.5. Explication des préférences des classes de consommateurs avec des éléments sensoriels, textuels, d'usage et comportementaux .....	195
3.5.1. Explication des préférences en lien avec les qualités sensorielles : cartographie externe des préférences.....	195
3.5.2. Explication des préférences en lien avec les qualités et défauts des fromages issus des questions ouvertes .....	197

---

3.5.3. Explication des préférences en lien avec les perceptions d'intensité gustatives.....	202
3.5.4. Explication des préférences en lien avec leurs attirances alimentaires.....	203
3.5.5. Explication des préférences en lien avec les données sociodémographiques, les attentes et les comportements de consommation .....	208
4. Conclusion.....	211
Conclusion générale et perspectives.....	213
1. Conclusion générale .....	215
2. Perspectives .....	220
Annexes .....	223
Références bibliographiques .....	251
Index des tableaux .....	275
Index des figures.....	277





# INTRODUCTION

---



La France fait partie des plus importants producteurs et consommateurs de fromages, se démarquant par ses 45 fromages d'Appellation d'Origine Protégé (AOP). Produit intergénérationnel, le fromage a été le produit laitier le plus consommé par les Français en 2010 (CNIEL, 2012). Cependant, de plus en plus, les nouvelles générations négligent la place du fromage en fin de repas et préfèrent le consommer en tant qu'ingrédient. Ce changement a donné naissance à une nouvelle branche de produits appelés « fromages ingrédients » qui émergent depuis quelques années. Ces nouveaux « fromages » ont pour vocation de nouvelles utilisations et se retrouvent aussi bien dans les préparations culinaires à chaud qu'à froid. Le fromage n'est plus seulement apprécié pour sa dégustation sur plateau mais de plus en plus pour ses propriétés à chaud. De ce fait, les tendances en matière de Produits Alimentaires Intermédiaires (PAI) sont à la recherche de propriétés fonctionnelles particulières (Pin 2010). Pour les fromages à chaud, certaines aptitudes sont recherchées comme le filant, le gratiné ou l'étalement à chaud. Pour s'adapter à tous les nouveaux modes d'usages, les fabricants doivent redoubler d'innovation produits pour proposer des produits de toutes formes, avec des propriétés fonctionnelles adaptées à chaque utilisation tout en conservant une bonne qualité gustative. Les fromages de type mozzarella, cheddar ou raclette ont été le sujet de nombreuses études afin d'identifier leurs qualités fonctionnelles. Afin de valoriser les fromages traditionnels, certains fromages AOP ont déjà été inclus dans des préparations culinaires. Ces nouveaux modes de consommation et d'usages pourraient faire apparaître de nouvelles perspectives pour d'autres fromages AOP comme les fromages à pâte persillée que l'on retrouve en sauce ou en topping sur des pizzas. Cette nouvelle orientation pourrait ainsi dynamiser les ventes des fromages à pâte persillée, qui sont en baisse depuis quelques années (CNAOL 2013). En 2012, le tonnage de fromages AOP s'élève à 190 680 tonnes mais les volumes commercialisés évoluent de manière différente selon le type de fromages. En tête, se positionnent les fromages à pâte pressée non cuite (29,8%) et les fromages à pâte pressée cuite (32,1%). Les fromages à pâte persillée représentent seulement 15,4% des volumes commercialisés AOP en 2012. Une baisse de ces volumes (-2,9%) a été observée entre 2011 et 2012 et en particulier pour le Bleu d'Auvergne (-6,4%) tandis que la Fourme d'Ambert reste stable (CNAOL 2013).

C'est dans ce contexte, que nous avons souhaité analyser les fromages à pâte persillée du Massif central, qui possèdent pas moins de 5 fromages AOP dans cette catégorie. La littérature scientifique ne recense pas l'analyse des qualités sensorielles et le comportement à chaud de ce type de fromages. D'une manière générale, les mesures réalisées pour étudier les propriétés fonctionnelles des fromages à chaud sont généralement d'ordre mécanique, rhéologique et visuel (Richoux et al. 2001). Mais notre recherche se veut novatrice dans le sens où les travaux vont se porter sur l'étude des propriétés sensorielles et plus particulièrement sur les perceptions gustatives des fromages à chaud. En effet, selon le procédé et les propriétés physico-chimiques du fromage (pH, temps d'affinage..),

les fabricants sont capables de travailler sur les aptitudes fonctionnelles des fromages et d'atteindre la propriété recherchée (Lucey 2008). Mais qu'en est-il du goût ? Les fromages AOP, ayant une typicité gustative, peuvent-ils être utilisés à chaud sans altérer le goût d'origine ? Le consommateur est-il prêt à consommer ce type de produit sous une autre forme ? Quelles sont ses attentes en termes de goût pour un fromage à chaud ?

Cette thèse propose par une approche exploratoire, basée principalement sur les méthodes d'analyses sensorielles et biochimiques, d'étudier le comportement à chaud des fromages à pâte persillée et plus particulièrement les perceptions gustatives et en quoi ces modifications induites par le chauffage influencent les préférences des consommateurs. En termes de retombées économiques, ce travail pourra représenter une première approche pour valoriser les fromages AOP à pâte persillée de la filière dans le but d'identifier leurs caractéristiques propres basées sur des propriétés sensorielles et adapter leurs fromages en fonction de leurs usages.

Le premier chapitre présente le contexte bibliographique axé sur les caractéristiques technologiques et la typicité des fromages à pâte persillée du Massif central. Les mécanismes de la perception sensorielle sont également abordés et plus spécifiquement l'influence de la température sur les propriétés sensorielles. Enfin, la dernière partie présente un état des lieux des méthodes sensorielles qui nous ont paru les plus intéressantes pour répondre à notre problématique.

Le deuxième chapitre expose la problématique et la démarche expérimentale. Le chapitre suivant est consacré aux choix méthodologiques qui ont été faits pour mener à bien l'ensemble des expérimentations. Ces choix méthodologiques se sont portés particulièrement sur les conditions sensorielles (détermination des températures de chauffage, de dégustation, sélection du modèle « fromage »), l'extraction de la fraction soluble et le type d'analyses physico-chimiques à réaliser. Le dernier chapitre présente les résultats qui ont été scindés en 3 parties. La première concerne le screening des qualités sensorielles à froid et à chaud des 4 fromages à pâte persillée du Massif central. Il a pour but de positionner et identifier les différentes qualités de chacune des catégories de fromages à froid et d'observer leurs comportements à chaud. La deuxième partie décrit dans un premier temps l'effet global du chauffage sur les perceptions sensorielles de la Fourme d'Ambert et dans un deuxième temps, l'impact du chauffage sur la libération des molécules sapides et les conséquences sur les perceptions gustatives. Enfin, la dernière partie traite de l'impact du chauffage sur les préférences des consommateurs vis-à-vis des fromages à chaud et à froid.

# **CHAPITRE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

---



L'objectif de ce chapitre est de faire un état de l'art sur les fromages à pâte persillée, sur les mécanismes de la perception sensorielle et sur les méthodes d'analyses sensorielles permettant de décrire les perceptions sensorielles qu'elles soient d'ordre analytique ou hédonique.

Pour cela, une première partie est consacrée aux fromages à pâte persillée, produits de l'étude, et à leur technologie. La deuxième partie aborde plus précisément les mécanismes de la perception sensorielle concernant la flaveur et les effets de la température sur les perceptions sensorielles et sur les fromages. Enfin, la dernière partie traite des méthodes utilisées en analyse sensorielle pour décrire les qualités sensorielles des produits alimentaires et pour mesurer les préférences des consommateurs. Dans ce dernier volet, une partie est consacrée aux préférences gustatives et aux attentes des consommateurs vis-à-vis des fromages.

## **1.LES FROMAGES A PATE PERSILLEE**

---








### **1.1. ORIGINE ET DIVERSITE**

Les fromages à pâte persillée se distinguent par leur pâte de couleur blanche, crème avec un persillage de couleur allant du vert au bleu. Le premier « Bleu » fut le Roquefort qui obtint une Appellation Origine Contrôlée (AOC) en 1926. Par la suite, de nombreux fromages à pâte persillée obtiennent ce même label d'origine. Aujourd'hui, la France compte une quinzaine de « Bleus » dont six présentent une Appellation d'Origine Protégée (AOP) : Bleu d'Auvergne, Bleu des Causses, Bleu de Gex, Bleu du Vercors-Sassenage, Fourme de Montbrison, Fourme d'Ambert et Roquefort. La plupart des bleus sont fabriqués au lait de vache hormis le Roquefort issu de lait de brebis. Parmi ces 7 AOP, 4 appartiennent au territoire du Massif central (tableau 1).

A l'échelle internationale, d'autres variétés de fromages existent comme le Danablu au Danemark, l'Edelpizkäse en Allemagne, le Gammelost en Norvège, le Gorgonzola en Italie, le Stilton cheese, le Blue Cheshire, le Blue Shropshire et le Blue Cheddar en Grande-Bretagne. En Espagne, le Cabrales, et le Picón de Valdeón sont les principaux fromages à pâte persillée.



Tableau 1 : Aire géographique de fabrication des fromages à pâte persillée (source : <http://www.inao.gouv.fr/>)

Dénomination des fromages	Aire géographique	Photos
Bleu d'Auvergne	Départements du Puy de Dôme et du Cantal et sur quelques communes de Haute Loire, de l'Aveyron, du Lot, de Corrèze et de Lozère	
Bleu des Causses	Partie sud du Massif central et quasi-totalité de l'Aveyron, une partie des départements du Lot et de la Lozère, une commune du Gard et une commune de l'Hérault. L'affinage ne peut avoir lieu que dans les caves naturelles des causses calcaires munies de fleurines naturelles et comprises dans l'aire géographique : cantons de l'Aveyron), communes du Gard et de l'Hérault.	
Bleu de Gex	Départements de l'Ain et du Jura	
Bleu du Vercors-Sassenage	Départements de l'Isère et de la Drôme, situées sur le plateau du Vercors	
Fourme d'Ambert	Départements du Puy de Dôme (294 communes), du Cantal (61 communes) et de La Loire (8 communes)	
Fourme de Montbrison	Départements de la Loire (28 communes) et quelques communes du Puy de Dôme (5 communes).	
Roquefort	Départements de l'Aude, l'Aveyron, du Tarn, de la Lozère, du Gard, et de l'Hérault	

## 1.2. CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES DES FROMAGES A PATE PERSILLEE

Comme la plupart des fromages, les pâtes persillées comportent les étapes de fabrication suivantes : caillage, moulage, égouttage, salage, piquage et affinage. La seule étape spécifique aux pâtes persillées est l'introduction de souche de *Penicillium roqueforti* (moisissures spécifiques aux fromages à pâte persillée) dans le lait et au piquage. Au cours de cette étape primordiale, le fromage va être piqué à l'aide d'aiguilles. Ainsi, les cheminées d'aération réalisées vont permettre au « Bleu » de se développer dans la masse par apport d'oxygène.

### 1.2.1. La préparation du lait

#### 1.2.1.1. Homogénéisation du lait

Cette étape consiste à réduire la taille des globules gras en minuscules particules avec une modification de leurs membranes et n'auront plus la capacité de s'assembler pour remonter à la surface. Sur le plan sensoriel, les conséquences de l'homogénéisation sont nombreuses ; elles peuvent influencer la texture, la flaveur et l'apparence (Nair 2000; Madadlou et al. 2007). Cette étape facilite la répartition de la matière grasse permettant ainsi une activité des lipases plus importante et donc une accélération de l'apparition de la flaveur dans les bleus. En modifiant la nature de l'interface matière grasse / eau, l'homogénéisation supprime le rôle protecteur de la membrane native des globules gras vis-à-vis des lipases du lait. Ce traitement conduit à accélérer la lipolyse des matières grasses du lait et de ce fait des lipases au contact de la phase grasse.

#### 1.2.1.2. Traitement thermique du lait

La pasteurisation est un traitement thermique qui va modifier certaines propriétés du lait par :

- L'élimination de la majorité des micro-organismes du lait,
- L'activation ou inactivation de certaines enzymes endogènes du lait,
- La dénaturation des protéines du sérum.

Selon Grappin et al. (1997), la comparaison de fromages fabriqués au lait pasteurisé, au lait cru ou au lait microfiltré concerne la nature et l'étendue de la protéolyse. Par ailleurs, il a été démontré que les fromages au lait pasteurisé et au lait microfiltré présentaient une diversité sensorielle moins riche et un profil aromatique moins intense que les fromages au lait cru. Ces résultats ont été confirmés dans d'autres travaux (Beuvier et al., 1997; Callon, Berdagué, Dufour, & Montel, 2005; Montel et al., 2014) en démontrant que la microflore du lait cru intervenait dans les caractéristiques biochimiques et sensorielles des fromages.

### 1.2.2. La coagulation

La coagulation va permettre de transformer le lait à un état liquide à l'état semi-solide appelé gel. Selon la technologie fromagère, un type de coagulation va y être associé et va ainsi définir la qualité et la texture du caillé. Trois types de coagulation existent :

- la coagulation acide, qui résulte d'un abaissement du pH du lait par ajout d'un acide ou par la production d'acide lactique par des bactéries lactiques, suite à la dégradation du lactose. Généralement, le caillé est cassant, imperméable et peu contractile après égouttage : on parle de caillé lactique.
- la coagulation par voie enzymatique, qui est due à la présence d'enzymes coagulantes. Le caillé obtenu est un caillé présure qui sera souple, imperméable et contractile après l'égouttage.
- La coagulation mixte associe les deux types de coagulation où des ferments lactiques et de la présure sont ajoutés.

Pour les fromages à pâte persillée, la coagulation est de type mixte. Le lait va êtreensemencé avec la moisissure *Penicillium roqueforti*, puis sont ajoutées les bactéries lactiques et ensuite la présure.

### 1.2.3. L'égouttage

Le but de cette opération est d'éliminer le lactosérum permettant la rétraction et le durcissement du caillé. La qualité de l'égouttage va donc dépendre de plusieurs facteurs notamment de la technique d'égouttage utilisée (découpage, brassage, chauffage) mais aussi du traitement du lait, de la quantité d'enzymes coagulantes incorporée dans le lait. De ce fait, l'égouttage va définir les caractéristiques physiques et chimiques des fromages.

### 1.2.4. Le salage

Le chlorure de sodium ou plus généralement le sel a de nombreuses fonctions et exerce d'importants effets sur le fromage (figure 1). Le sel a un rôle au niveau biochimique, microbiologique et organoleptique (Fox et al. 1996) :

- Il joue un rôle déterminant sur l'activité de l'eau en abaissant l'eau disponible
- Il exerce ainsi un pouvoir sur l'activité microbiologique et sur l'activité enzymatique
- Il joue un rôle dans les changements biochimiques durant l'affinage (Pastorino et al. 2004)
- Il intervient également sur le développement des arômes et des saveurs et également sur la texture des fromages.

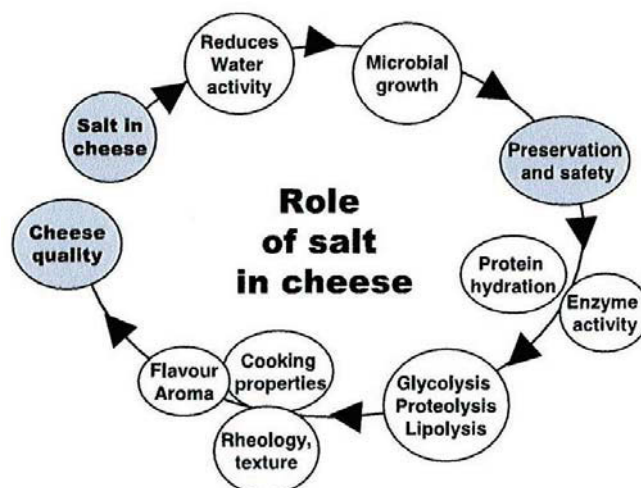


Figure 1 : Rôle du sel dans le fromage (Guinee 2004)

Deux types de salage existent :

- Le saumurage dont le principe est d'immerger, selon un temps donné, le fromage dans une saumure saturée en sel.
- Le salage à sec par saupoudrage, par frottement ou par incorporation du sel dans la masse du caillé.

Dans le cas des fromages à pâte persillée, les deux types de salages peuvent exister. Quand le fromage est immergé dans une saumure, un mouvement des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  de la saumure à l'intérieur se crée, conséquence de la différence de la pression osmotique entre le cœur du fromage et la saumure. Par ailleurs, l'eau et les autres éléments solubles se dirigent, en contre sens, de la solution la moins concentrée à celle la plus concentrée, ce qui rétablit l'équilibre de la pression osmotique (Guinee 2004). Pour assurer un salage régulier et efficace, plusieurs paramètres sont à prendre en compte, notamment la concentration en sel de la saumure, la température, le degré de vieillissement et l'agitation (Chamba 1988). Pour le salage réalisé par frottement, un contreflux d'humidité crée une couche saturée de sel à la surface du fromage et ainsi la prise de sel peut se dissiper par un processus de diffusion (Guinee 2004).

Le sel va jouer sur les propriétés organoleptiques des fromages et plus particulièrement sur la texture et la saveur (Paulson et al. 1998; Pastorino et al. 2003; Saint-Eve et al. 2009). En effet, les protéines interagissent avec différentes molécules, notamment avec l'eau, le sel mais aussi les matières grasses. L'hydratation des protéines va donc influencer la structure et la stabilité physico-chimiques du fromage. De ce fait, l'ajout de sel viendrait altérer la fonction des caséines, diminuer le pH ce qui favoriserait l'interaction du sodium avec les protéines.

De plus, il a été également démontré que le sel contribue à modifier certains paramètres en relation avec la composition du fromage (matières sèches, matières grasses). En effet, Saint-Eve et al. (2009) montrent dans des modèles fromagers que les variations de sel, de gras et de matières sèches

influencent fortement la perception de la texture et les paramètres instrumentaux liés. Dans ce contexte, la quantité de sel a un impact sur les propriétés sensorielles qui sont plus marquées sur les fromages à 20% de matières grasses que ceux à 40% de matières grasses. D'après Mistry et al. (1998), en plus de sa saveur salée, il favoriserait l'apparition d'autres saveurs comme l'acidité et l'amertume. Dans cette même étude, le sel est noté comme un facteur influençant la libération des composés aromatiques responsables de la perception olfactive. Dans ce cas, le sel va modifier la polarité de surface des protéines ce qui peut affecter leur capacité à se lier et donc agir sur la rétention des composés aromatiques.

### **1.2.5. Le piquage**

Le piquage du fromage est une étape spécifique aux fromages à pâte persillée qui consiste à transpercer de part en part le fromage avec de fines aiguilles. Ces dernières vont permettre de faire rentrer l'oxygène de l'air et ainsi permettre le développement du *Penicillium roqueforti*.

### **1.2.6. L'affinage**

L'affinage, dernière étape primordiale de la fabrication du fromage, correspond à la digestion enzymatique des constituants du caillé. Durant l'affinage, des changements microbiologiques et biochimiques vont apparaître et être impliqués dans la formation et le développement des arômes ainsi que sur les caractéristiques de la texture. Trois grands processus vont prédominer au cours de l'affinage : la fermentation du lactose en lactate, la lipolyse et la protéolyse (Fox et al. 1996; McSweeney 2004).

Durant l'affinage, le complexe enzymatique du *Penicillium roqueforti* va être en grande partie responsable de l'activité protéolytique et lipolytique et du développement de la flaveur des fromages « Bleu » (Sousa 2001). En effet, le *Penicillium roqueforti* présente des systèmes protéolytiques et lipolytiques très complets (Le Bars and Gripon 1981). Selon les souches utilisées et les conditions de culture, la production de lipases et de protéases diffère. Niki et al. (1966) ont montré qu'avec un pH élevé dans le milieu, *Penicillium roqueforti* produit plus de lipases et moins de protéases.

Les moisissures vont s'accroître et sporuler durant cette période en formant des marbrures, des « veines bleues » dans la pâte du fromage. La protéolyse, par l'intermédiaire des exo et endopeptidases (aspartyl protéase et une métalloprotéase) est l'un des processus qui intervient principalement sur la texture mais aussi sur le développement des flaveurs. Ce phénomène contribue à des modifications texturales dues à la dénaturation des protéines, à la diminution de l'Aw et à l'augmentation du pH. Il contribue à la formation d'arôme notamment due à la formation d'acides aminés libres ou de peptides.

Plus précisément pour les pâtes persillées, *Penicillium roqueforti*, après sporulation, hydrolyse la caséine  $\alpha 1$ -CN (f24-199) et d'autres peptides, ce qui va engendrer le changement des peptides

dans la matrice fromagère (Gripon and Bergere 1972; Lucey et al. 2003). Dans les bleus, les caséines  $\beta$  et  $\alpha$  sont hydrolysées à la fin de l'affinage (Mc Sweeney 2004), tandis que dans la plupart des autres fromages, la caséine  $\alpha_1$  est hydrolysée plus rapidement que la caséine  $\beta$ . L'ensemble de ces différentes enzymes agit différemment en fonction du pH du milieu. A titre d'exemple, les endopeptidases telles que les métalloprotéases agissent avec un pH optimal de 5,5-6 tandis que l'aspartyl protéase est optimale à un pH voisin de 3,5 et 5,5 (Cerning et al. 1987). La protéolyse apparaît très rapidement durant les premières semaines d'affinage et en fin d'affinage, la teneur en azote soluble atteint environ 50% de l'azote total (Devoyod et al. 1968) en comparaison avec un camembert, qui atteint seulement 35%.

L'autre phénomène très important durant l'affinage est la lipolyse qui repose sur l'hydrolyse enzymatique des lipides. Ce phénomène est présent dans la plupart des variétés de fromages mais le degré de lipolyse varie en fonction des fromages notamment dans les fromages à pâte persillée (Collins et al. 2004). La lipolyse est due à la présence de lipases naturelles du lait, la lipoprotéine lipase (LPL) ainsi qu'à la présence de lipases microbiennes ou celles d'enzymes ajoutées au cours de la fabrication. Les organismes les plus lipolytiques sont les *Penicillium* spp. En effet, en ce qui concerne les moisissures *Penicillium roqueforti*, deux types d'enzymes lipasiques existent (Menassa and Lamberet 1982) :

- les lipases alcalines avec une activité optimale à pH 8,0 - 8,3,
- les lipases acides qui présentent une activité autour d'un pH acide voire neutre.

Les lipases natives du lait sont très actives et permettent une hydrolyse efficace des acides gras. Mais selon la souche de *Penicillium roqueforti* utilisée, l'activité lipolytique peut varier et engendrer une différence au niveau du profil qualitatif et quantitatif des acides gras libres (Kinsella and Hwang 1976). Dans les fromages à pâte persillée, l'activité lipasique s'active plus particulièrement au voisinage du mycélium. De ce fait, les acides gras libres sont localisés principalement dans la partie centrale des bleus (Cerning et al. 1987).

Même si le profil des acides gras libres est différent selon le type de fromages à pâte persillée, il existe une famille de composés chimiques commune et spécifique à cette catégorie de fromages : les méthylcétones (Molimard and Spinnler 1996; McSweeney and Sousa 2000) qui sont synthétisées à partir d'une oxydation partielle des acides gras saturés à chaîne courte et moyenne, libérés au cours de la lipolyse. D'autres composés issus de la dégradation des acides gras ont été reportés comme ayant un rôle sur la flaveur des fromages à pâte persillée ; c'est le cas du Bleu des Causses pour lequel des composés soufrés (diméthylsulfure, sulfure d'hydrogène) ont été identifiés majoritairement. Dans le Bleu d'Auvergne, des composés tels que des lactones et des alcools primaires ont principalement été identifiés (Gallois and Langlois 1990).



### **1.2.6.1. Conditions de fabrication des fromages à pâte persillée du Massif central**

Malgré un procédé technologique proche entre ces quatre fromages, des différences existent sur certains paramètres technologiques, induisant des répercussions sur les qualités sensorielles et biochimiques des fromages.

#### **1.2.6.1.1. La famille des « Bleus »**

Les diagrammes de fabrication du Bleu des Causses et du Bleu d'Auvergne sont représentés dans la figure 2. Concernant la famille « Bleu » qui regroupe le Bleu des Causses (BC) et le Bleu d'Auvergne (BA), plusieurs différences sont observées tout au long du procédé. Concernant le Bleu des Causses, il s'agit d'une fabrication avec une acidification plus longue où l'extrait sec est plus élevé, 53% minimum au lieu de 50% pour le Bleu d'Auvergne. Les souches de *Penicillium roqueforti* sont différentes ainsi que les ferments. Le Bleu des Causses utilise uniquement des ferments mésophiles par rapport au Bleu d'Auvergne pour lesquels des ferments thermophiles sont utilisés. La découpe du caillé en cuve est légèrement plus grossière que pour le Bleu d'Auvergne. Le salage s'effectue à des températures plus basses autour de 10°C pour le BC et 15 à 20°C pour le BA. Enfin, la différence ultime se situe au niveau de l'affinage pour lequel le Bleu des Causses est affiné dans des caves naturelles dont les températures et le taux d'hygrométrie varient selon les saisons. Le Bleu d'Auvergne est, quant à lui, affiné dans un hâloir avec une hygrométrie et une température dirigées.

Bleu des Causses	DIAGRAMME		Bleu d'Auvergne
<b>Descriptions</b> Lait conservé maximum 48h à la ferme _ 22 litres/bleu			<b>Descriptions</b> Lait conservé maximum 48h à la ferme _ 20 litres/fourme
Pas de standardisation Min 45% de MG/ES	<b>Lait</b>	<b>Lait</b>	Cru ou standardisation en matières grasses – Min 50% de MG/ES
Non autorisée	<b>Standardisation</b>	<b>Standardisation</b>	Autorisée
	<b>Homogénéisation</b>	<b>Homogénéisation</b>	Pendant 12 heures, ajout ferments + Bleu (12°C)
Thermisé	<b>Traitement thermique</b>	<b>Traitement thermique</b>	Pasteurisation ou thermisation
Ajout de présure (T°= 31° à 35°C), de ferments, <i>Penicillium roqueforti</i>	<b>Emprésurage</b>	<b>Emprésurage</b>	Ajout de présure, de ferments (T°= 30 à 34°C), <i>Penicillium roqueforti</i>
Cube de 1 à 3 cm	<b>Tranchage/Brassage</b>	<b>Tranchage/Brassage</b>	Grain coiffé (fine pellicule qui va isoler les grains les uns par rapport aux autres – tranchage à 1 cm
	<b>Moulage</b>	<b>Egouttage</b>	Sur tapis- libération du sérum
2 à 4 jours	<b>Egouttage</b>	<b>Moulage</b>	Pas de pressage- 12 heures à 20-24°C à 24°C
	<b>Démoulage</b>	<b>Démoulage</b>	
Salage à sec : sur 2 jours	<b>Salage</b>	<b>Salage</b>	A sec ou saumurage
Les bleus sont brossés pour enlever le sel	<b>Brossage</b>		
Entre le 5ème et le 12ème jour après la date d'emprésurage	<b>Piquage</b>	<b>Piquage</b>	Minimum 4 jour/ à la date d'emprésurage
Cave naturelle à "fleurines" – 12 jours/à la date d'emprésurage	<b>Affinage en cave</b>	<b>Affinage en cave</b>	28 jours/à la date d'emprésurage- 8°C - 96 %HR
emballage sous film aluminium	<b>Conditionnement/Plombage</b>	<b>Conditionnement/Plombage</b>	
Conserver entre -4°C et +4°C pdt 70 jours/ à la date d'emprésurage	<b>Affinage à froid/maturation</b>	<b>Affinage à froid/maturation</b>	0 à 6°C - Durée : A partir du 28 <sup>ème</sup> jr/ à la date d'emprésurage

Figure 2 : Diagramme de fabrication du Bleu des Causses et du Bleu d'Auvergne



Le temps d'affinage est de 12 jours pour le Bleu des Causses contre 28 pour le Bleu d'Auvergne. Après affinage en cave naturelle, le Bleu des Causses est mis sous emballage individuel neutre et provisoire avant d'être mis en chambre froide (maturation) pour la poursuite de l'affinage en anaérobiose (jusqu'à 70 jours après la date d'emprésurage). Avant expédition, cet emballage est enlevé et remplacé, après un lavage ou un « revirage » de surface, par un aluminium où figure la marque. Cette technique n'est pas pratiquée en Bleu d'Auvergne qui après affinage en hâloir est emballé directement sous aluminium à marque et stocké au froid à 4°C avant expédition.

#### **1.2.6.1.2. La famille des « Fourmes »**

Concernant la famille « Fourme » qui regroupe la Fourme d'Ambert et la Fourme de Montbrison (figure 3), une des premières différences se situe au niveau de l'homogénéisation du lait. Cette dernière est autorisée pour la Fourme d'Ambert mais ne l'est pas pour la Fourme de Montbrison. La taille des grains de caillé est légèrement plus importante que celle de la Fourme de Montbrison. L'égouttage des grains de caillé est également spécifique pour chacune des deux fourmes. Il se réalise sur tapis pour la Fourme d'Ambert tandis que pour la Fourme de Montbrison les grains de caillé sont légèrement pressés. En ce qui concerne, le salage il se fait dans la masse pour la Fourme de Montbrison et en saumurage ou en surface pour la Fourme d'Ambert. Pour l'égouttage des fromages en blanc, la Fourme de Montbrison est retournée 2 fois, puis démoulée et placée sur des chéneaux en bois d'épicéa, permettant ainsi le maintien de la fourme, son séchage et l'hydratation de la croûte, de couleur orangée qui fait sa particularité. Enfin, le temps d'affinage est de 32 jours pour la Fourme de Montbrison contre 28 pour la Fourme d'Ambert.

FOURME DE MONTBRISON	DIAGRAMME		FOURME D'AMBERT
<b>Descriptions</b>			<b>Descriptions</b>
Lait conservé maximum 48h à la ferme _ 20 à 25 litres/fourme	Lait	Lait	Lait conservé maximum 48h à la ferme _ 19 litres/fourme
Cru ou standardisation en matières grasses - 50% de MG	Standardisation	Standardisation	Cru ou standardisation en matières grasses – Minimum 50% de MG/ES
Non autorisée	Homogénéisation	Homogénéisation	Autorisée
Thermisé	Traitement thermique	Traitement thermique	Pasteurisation ou thermisation
Ajout de présure ( $T^{\circ}= 29$ à $34^{\circ}\text{C}$ ), de ferments, <i>Penicillium roqueforti</i>	Emprésurage	Emprésurage	Ajout de présure, de ferments, <i>Penicillium roqueforti</i>
Cube de 0,5 à 1 cm	Tranchage	Tranchage	Cube de 1 à 2 cm
Libération du sérum -	Brassage	Brassage	
Autorisé	Emiettage	Moulage	24 à 48h - 18 à $25^{\circ}\text{C}$
Légèrement pressée -24h/48h à $20-25^{\circ}\text{C}$	Egouttage	Egouttage	Drainage sur tapis
		Démoulage	
Salage dans la masse _ Le sel représente 1,6% de la masse totale de la fourme	Salage	Salage	A sec ou en saumure
	Moulage		
La fourme est retournée deux fois	Egouttage		
Les fourmes sont placées sur les chêneaux d'épicéa - elles restent 8 jours où elles sont retournées d'un quart de tour - toutes les 12 heures - $T^{\circ}=18$ à $22^{\circ}\text{C}$	Démoulage		
2 piquages : 8 jrs après l'entrée en cave puis le 27 <sup>ème</sup> jr de fabrication	Piquage	Piquage	A partir du 4 <sup>ème</sup> jour/ à la date d'emprésurage
3 semaines - $T^{\circ}= 8-10^{\circ}\text{C}$	Affinage en cave	Affinage en cave	28 jours/ à la date d'emprésurage- $8^{\circ}\text{C}$ - 96% HR
	Conditionnement	Conditionnement	
	Maturation à froid	Maturation à froid	0 à $6^{\circ}\text{C}$ – A partir du 28 <sup>ème</sup> jr/ à la date d'emprésurage

Figure 3 : Diagramme de fabrication de la Fourme de Montbrison et de la Fourme d'Ambert

### **1.3. CARACTERISTIQUES SENSORIELLES ET PHYSICO-CHIMIQUES DES FROMAGES A PATE PERSILLEE**

Les fromages traditionnels et notamment les fromages avec un signe AOP, sont liés généralement à une aire géographique s'appuyant sur la notion de terroir. Ces productions mettent en œuvre des conditions spécifiques et encadrées (conditions liées à l'animal, au milieu, à la production du lait et au savoir-faire) pour donner des produits typiques. Par ailleurs, l'image véhiculée par les fromages AOP est liée à l'origine, à la tradition et aussi à leur qualité gustative (Amblard et al. 2012). Ces produits sont reconnus par les consommateurs comme des produits liés à l'origine et comme un gage de qualité reconnue et perceptible. L'ensemble de ces conditions va ainsi contribuer à la typicité de ces produits qui leur permet de se distinguer des autres et ainsi d'appartenir à un groupe, tout en essayant de ne pas devenir un modèle de standardisation (Giraud and Sirieix 2000) . C'est pourquoi, les fromages AOP se distinguent par des qualités sensorielles bien spécifiques, propres à chaque catégorie. En effet, il existe une richesse et une diversité sensorielle au sein de chacune de ces catégories, apportées par les pratiques, le savoir-faire mais aussi liées aux matières premières. Selon Cayot (2007), un produit traditionnel est un produit qui véhicule une image de bonne qualité gustative mais à la fois, qui peut être perçu aussi bien « bon pour la santé » (associé à des produits naturels, pas d'ajout d'additif) que « mauvais pour la santé » (associé à la quantité de gras, contaminants microbiologiques). Dans le cahier des charges des fromages AOP, une partie est consacrée à la description des fromages. Le tableau 2 liste les principaux critères de chaque fromage à pâte persillée AOP du Massif central qui se basent principalement sur l'aspect de la pâte et de la croûte et donnent peu d'information sur la description gustative des produits. Ces caractéristiques restent génériques et peu descriptives. C'est pourquoi il sera intéressant de connaître les particularités de chacune de ces catégories, de manière qualitative et quantitative en utilisant les méthodes d'analyses sensorielles.

Dans la littérature, peu de travaux ont été réalisés sur les fromages français à pâte persillée. Généralement, les études se focalisent sur les saveurs en relation avec la composition des composés volatils sur d'autres types de fromages à pâte persillée comme le Stilton (Jolly and Kosikowski 1975; Gkatzionis et al. 2009). En 1990, Gallois et Langlois étudient la nature des composés volatils présents dans le Bleu des Causses et le Bleu d'Auvergne. Lawlor et al. (2000) travaillent sur les relations entre les attributs sensoriels et les composés aromatiques sur six types de fromages à pâte persillée dont le Bleu d'Auvergne. Celui-ci est décrit comme salé avec une saveur huileuse et de moisi. En termes de texture, il se définit par une couleur peu intense de la pâte, peu granuleux et peu friable. Toujours par les mêmes auteurs (Lawlor et al. 2003), les qualités sensorielles et les préférences des consommateurs de 10 variétés de fromages dont le Blue Shropshire (fromage anglais) ont été étudiées. Ce fromage est caractérisé par une couleur intense, un aspect « moisi »,

par une odeur et une flaveur « moisi-bleu », par des saveurs acide et salée et par une perception astringente.

Tableau 2 : Caractéristiques sensorielles des fromages à pâte persillée (extrait des cahiers des charges ; source : <http://www.inao.gouv.fr/>)

Description du cahier des charges	Bleu d'Auvergne	Bleu des Causses	Fourme d'Ambert	Fourme de Montbrison
Forme	Cylindre Diamètre 19 à 23 cm Hauteur 8 à 11 cm	Cylindre Diamètre 19 à 21 cm Hauteur 8 à 12 cm	Cylindre Diamètre 12, 5 à 14 cm Hauteur 17 à 21 cm	Cylindre Diamètre 11,5 à 14,5 cm Hauteur 17 à 21 cm
Poids	2 à 3 kg	2,2 à 3,3 kg	1,9 à 2,5 kg	2,1 à 2,7 kg
Surface	Sans mouillure ni exsudation Couleur non uniforme Moisissures blanches, grises, vertes, bleus, noires	Sans morge excessive, ni tâche	Fine croûte sèche, fleurie Gris clair à gris Moisissures blanches, jaunes et rouges, reflets bleutés	Sèche, fleurie Couleur orangée Moisissures blanches, jaunes et rouges
Aspect de la pâte	Blanche à ivoire avec ouvertures	Blanc ivoire Couleur uniforme	Blanc à crème	Crème
Persillage	Régulièrement réparti Couleur bleu à vert Persillage de grosseur de grain de blé à grain de maïs	Régulièrement réparti bleu verdâtre	Régulièrement réparti Couleur bleu à vert	Marbré bleu clair

Ces qualités sensorielles sont étroitement reliées à la caractérisation des propriétés physico-chimiques ou rhéologiques. Un grand nombre d'études a été réalisé sur les propriétés sensorielles des fromages de tous types en montrant l'influence de certains paramètres comme les conditions de fabrication (affinage, type de souche, traitement thermique du lait). Cependant, pour les fromages à pâte persillée, la littérature aborde le plus souvent les activités biochimiques des souches *Penicillium roqueforti* (Morris and Jezeski 1953; Lawrence 1966; Madkor et al. 1987) ou l'analyse quantitative et qualitative des composés aromatiques de ces souches (Adda and Dumont 1974) plutôt que les caractéristiques sensorielles et plus particulièrement celles des fromages du Massif central. Seules quelques études ont été réalisées sur des fromages à pâte persillée d'origines différentes (Prieto et al. 1999; Lawlor et al. 2003).

D'après le tableau 3, peu de différences entre les sources semblent apparaître notamment pour les matières grasses et les protéines. Des écarts sont un peu plus marqués sur les teneurs en minéraux notamment la teneur en phosphore de la Fourme d'Ambert sachant que généralement, elles sont assez variables (Gueguen 2000) selon l'effet du traitement thermique ou selon la saison. Néanmoins, tous les fromages présentent le même profil qualitatif en sels minéraux. Le sodium, le calcium et le phosphore sont les principaux minéraux. Le potassium et le magnésium sont présents mais à des concentrations 5 fois plus faibles. En comparaison avec la littérature, les teneurs des minéraux varient selon le type de fromages. D'après Prieto et al. (1999), le Stilton présente une quantité moins importante de sel (1,9 g/100g de fromages) et de calcium (355 mg/100g de fromage). Les données de Gueguen (2000) indiquent que dans les fromages à pâte persillée, les teneurs en sodium et en potassium varient entre 450 et 1000 mg/100g de fromage.

Tableau 3 : Composition physico-chimique des fromages à pâte persillée issue de différentes sources

Fromages	pH	Humidité <sup>a</sup>	Sel <sup>a</sup>	Matières grasses <sup>a</sup>	Protéine <sup>a</sup>	Calcium <sup>b</sup>	Phosphore <sup>b</sup>	Potassium <sup>b</sup>	Magnésium <sup>b</sup>
Bleu d'Auvergne <sup>1</sup>	6,3	52,7	4,2	26,6	20,4	533	/	/	/
Bleu d'Auvergne <sup>2</sup>	/	/			20,4	518,6	373,6	83,6	19
Bleu d'Auvergne <sup>3</sup>	/	57,1	/	28,4	19,7	563	301	112	18,1
Fourme d'Ambert <sup>2</sup>	/	/		29,3	20,9	547,6	391,7	84,9	19,9
Fourme d'Ambert <sup>3</sup>	/	57,1	/	28,5	19,8	443	1040	111	16

<sup>1</sup>(Lawlor et al. 2003) ; <sup>2</sup>(Guiadeur 2012) ; <sup>3</sup>Ciquel 2013

<sup>a</sup> : valeurs exprimées en g/100g de fromage ; <sup>b</sup> = valeurs exprimées en mg/100g de fromage

## 2. MECANISMES DE LA PERCEPTION SENSORIELLE

### 2.1. LE SENS DES SENS

Lors de la dégustation d'un aliment, plusieurs stimuli vont être émis. Qu'il soit de nature chimique, thermique ou tactile, un stimulus va être capté par les récepteurs spécifiques de nos sens permettant le traitement et la transmission de cette information aux centres nerveux spécialisés du système sensoriel. Pour passer de ce stimulus à la mesure de la perception, un processus en 3 étapes successives va être appliqué (MacLeod et al. 2009). La première concerne **la transduction** au cours de laquelle le stimulus va être capté par un récepteur spécialisé qui va engendrer une dépolarisation de la membrane de la cellule sensorielle (transduction) et va générer un potentiel d'action. Cette information, au départ chimique ou physique, est transformée en un signal électrique qui va se

propager le long des fibres nerveuses en direction des centres cérébraux (influx nerveux). Le stimulus va engendrer des potentiels de récepteur et des potentiels d'action en faisant appel à différents types de récepteurs. La deuxième étape correspond au **traitement du signal ou codage** qui va coder l'information, selon son intensité mais aussi selon la durée du stimulus. Enfin, cette information est véhiculée vers le système nerveux central et se dirige vers un système intégrateur thalamo-cortical, on parle alors **de l'intégration**. Le traitement de l'information à ce niveau va permettre de former une image qui va être comparée aux images déjà stockées dans la mémoire. Le sujet va alors donner une réponse sensorielle.

Dans notre étude, nous allons donc nous intéresser plus particulièrement aux perceptions des saveurs (odeur, saveur et arôme), à leurs interactions et à l'impact de la température sur les perceptions sensorielles. De ce fait, la partie suivante va décrire plus précisément la perception gustative et aromatique ainsi que les interactions inter-modalités et intra-modalités sensorielles. Dans un autre chapitre sera abordé l'impact du chauffage sur les modalités sensorielles.

## 2.2. LA PERCEPTION DES MOLECULES SAPIDES

D'une manière générale, les aliments en bouche sont décrits par leur goût. Ce terme, selon la norme NF ISO 5492 (AFNOR 2009) basée sur le vocabulaire, est défini comme l'«ensemble des sensations perçues par l'organe gustatif lorsqu'il est stimulé par certaines substances solubles». Le goût est également associé au terme « saveur ». Plus spécifiquement, cinq saveurs sont décrites comme les saveurs « primaires » et sont les plus couramment utilisées pour décrire nos perceptions. Salé, amer, acide, sucré et umami font parties des cinq saveurs dites « primaires ». Un nombre important de molécules, issues de différentes familles chimiques, peuvent être responsable de ces saveurs (Thomas-Danguin et al. 2012). Sans faire une liste exhaustive de tous ces composés, certains illustrent parfaitement et communément ces saveurs. Le chlorure de sodium est synonyme de salé, les acides organiques tels que l'acide citrique, l'acide lactique sont représentatifs de la saveur acide. Les alcaloïdes et les amides comme la quinine ou la caféine et certains acides aminés sont représentatifs de la saveur amère. Et enfin, la saveur umami est représentée par le L-glutamate monosodique. Notre espace gustatif est défini comme un ensemble de saveurs continu qui peuvent interagir et ainsi former de nouvelles sensations (Faurion and Montmayeur 2012). L'Homme est ainsi capable de percevoir différentes saveurs mais elles sont généralement décrites par les 5 saveurs « primaires » (Faurion 1988). Cette dernière théorie peut s'expliquer par le fait, que selon le type de molécule, selon l'intensité, différents mécanismes de transduction peuvent être activés (Faurion 2004). A cela, s'ajoutent d'autres facteurs qui peuvent modifier les perceptions gustatives. Le premier concerne l'individu, pour lequel il existe une variabilité interindividuelle. Par la suite, nous verrons également que la perception gustative peut être modulée selon des paramètres oraux mais

aussi des paramètres externes liés aux produits (biochimiques, structuraux ou physiques). L'ensemble de ces considérations montre que l'analyse des perceptions est complexe.

### **2.2.1. Organisation du système gustatif**

L'Homme perçoit les saveurs (acide, amère, sucrée...) au niveau de la cavité buccale par des récepteurs gustatifs situés dans des bourgeons gustatifs enchâssés dans l'épithélium de revêtement de certaines papilles linguales. La quantité de cellules réceptrices varie beaucoup entre les humains (facteur de 100) mais généralement 300000 cellules se répartissent dans les 6000 bourgeons du goût (Scott and Verhagen 2000). Environ 2/3 de ces bourgeons sont localisés sur la surface dorsale de la langue et sont regroupés (3 à 250) dans les papilles. Celles-ci sont localisées sur toute la langue, sur le voile du palais, sur le pharynx et le larynx. Quatre grandes familles de papilles gustatives ont été répertoriées dont 3 sont impliquées dans la transduction des saveurs :

- Les papilles caliciformes : placées à l'arrière de la langue, elles sont peu nombreuses mais renferment plusieurs centaines de bourgeons du goût. Elles sont au nombre de 9 à 15 et forment le V lingual.
- Les papilles fongiformes : ce sont les plus volumineuses
- Les papilles foliées : situées sur les bords latéraux et postérieurs
- Les papilles filiformes : elles sont très nombreuses mais elles ne contiennent pas de bourgeons du goût. Elles informent sur la température et la consistance des aliments.

Les bourgeons du goût présentent une variété de cellules réceptrices distinctes au niveau morphologique et fonctionnel. Il existe 4 formes cellulaires différentes : type I, II, III et IV (Yoshida et al. 2009). Selon les substances sapides stimulées, la transduction du signal va se faire par différents récepteurs.

### **2.2.2. Mécanismes de transduction des saveurs**

Comme vu ci-dessus, les saveurs sont perçues par l'intermédiaire de récepteurs gustatifs, propre à chaque saveur. D'une manière globale, deux grands types de récepteurs existent mettant en jeu des mécanismes de transduction spécifique :

- les récepteurs ionotropiques : activation de canaux ioniques,
- les récepteurs métabotropiques : activation de récepteurs trans-membranaires.

#### **2.2.2.1. Les récepteurs ionotropiques**

Les récepteurs ionotropes sont sensibles à des ions hydratés tels que  $\text{Na}^+$  ou  $\text{H}^+$ . Ces différents ions vont se fixer sur les récepteurs ce qui va permettre l'ouverture d'un canal ionique. Pour les saveurs acide et salée, les voies de transduction sont différentes et font intervenir des chaînes ioniques spécifiques (figure 4).



Pour la saveur salée, les récepteurs responsables dans la transduction de la saveur salée seraient les canaux sélectifs sensibles à l'effet inhibiteur de l'amiloride de la famille des Epithelial Na Channels connus sous le nom de ENaC (Epithelial Na Channel).

Pour les ions  $H^+$  qui sont des ions de petites tailles (par rapport aux autres cations), plusieurs récepteurs sont impliqués dans la transduction tels que les canaux ASIC (Acid-Sensing Ion Channel) qui laissent passer des ions  $H^+$  ou les canaux sensibles aux nucléotides cycliques, activés par une hyperpolarisation de la membrane (HCN1, HCN4 : Hyperpolarisation-activated Cyclic-Nucleotide modulated Cation Non-selective Channel) (Lindemann 2001; Breslin and Spector 2008).

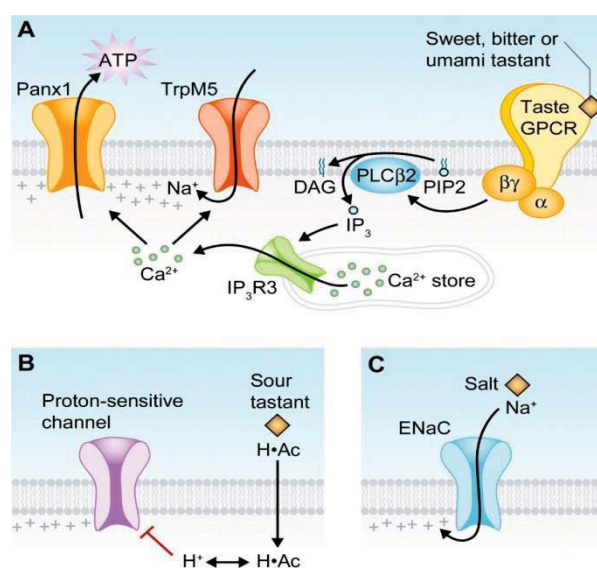


Figure 4 : Mécanismes de transduction pour les saveurs amère, sucrée et umami (A), la saveur acide (B) et la saveur salée (C) (Chaudhari and Roper 2010)

#### 2.2.2.2. Les récepteurs métabotropiques

Dans ce cas de figure, les substances organiques vont être reconnues en surface pour un ou plusieurs types de récepteurs appartenant à la famille des Protéines G couplée ou « G-protein-coupled receptors » (GPCRs), les récepteurs T1R et T2R en font parties. Le sucré, l'amer, l'umami sont détectés par ce type de récepteurs et transduits par une voie impliquant la gustducine, PLCβ2, IP3R3 and TRPM5 (Chandrashekar et al. 2000; Chandrashekar et al. 2006). Selon les saveurs, des récepteurs différents (tableau 4) vont être mis en jeu (Montmayeur and Matsunami 2002).



Tableau 4 : Récepteurs mis en jeu selon les saveurs (d'après Chandrashekar et al. 2006)

Saveur	Récepteurs	Molécules gustatives
Amer	famille des T2Rs	Quinine, denatorium, caféine
Sucré	récepteurs T1R2/T1R3	Sucrose, fructose, glucose, maltose, D-Phénylalanine, D-Alanine,
Umami	récepteurs T1R1/T1R3	L-amino acides, nucléotides

Le nombre de molécules amères est important et de nature chimique souvent diverse. Même si tous les composés n'ont pas été recensés, les composés amers peuvent provenir de différentes catégories : certains acides aminés, des peptides, des acides gras, des urées, des polyphénols, des esters et des lactones, des amines même des sels de potassium, de magnésium et de calcium (Behrens et al. 2004). Mais l'ensemble de ces composés ne sont pas perçus de la même façon. Chez l'Homme, 25 protéines réceptrices ont été dénombrées, localisées essentiellement dans les cellules réceptrices des papilles gustatives caliciformes et foliées (Adler et al. 2000) et moins abondantes dans les papilles fongiformes. Cette large variété de récepteurs et le nombre de molécules entraînant un goût amer montrent la complexité de la transduction de l'information gustative pour cette saveur.

### 2.3. LA PERCEPTION DES MOLECULES ODORANTES ET AROMATIQUES

Les odeurs dégagées par les aliments vont être détectées par le nez. Dans ce système sensoriel, ce ne sont plus des molécules sapides qui vont être détectées mais des molécules volatiles. L'olfaction est un sens complexe, dans lequel deux voies coexistent dans la cavité nasale :

- **La voie directe ou dite orthonasale**, les molécules odorantes sont perçues directement par le nez par flairage : ODEUR
- **La voie rétronasale** : l'aliment est mis en bouche, il est mastiqué et libère des molécules volatiles (les arômes) qui remontent au niveau de la cavité nasale pour être perçues par les récepteurs olfactifs : AROME

Les molécules odorantes vont être au contact des récepteurs olfactifs qui se situent dans l'épithélium de la région olfactive, située dans la partie haute des fosses nasales. L'épithélium olfactif représente une petite surface de 2 à 3 cm<sup>3</sup> où se trouvent les cellules olfactives. Ces cellules sont des neurones bipolaires dont la partie apicale est constituée de multiples cils, baignant dans une couche de mucus. Ces cils sont constitués des récepteurs à 7 domaines trans-membranaires et associés à des protéines, permettant ainsi l'interaction avec les molécules volatiles. D'autres protéines ont été identifiées,

jouant un rôle dans la détection des odeurs (Pelosi 2004). Ces protéines sont appelées « protéines de liaisons des odeurs » (Odorant binding proteins-OBP). Elles sont abondantes dans le mucus et permettraient de faciliter le transport des molécules volatiles vers les récepteurs. Une fois atteint le récepteur des neurones olfactifs primaires, qui réalisent alors la transduction du message chimique en message biologique, le message électrique permet d'obtenir deux informations (Duchamp-Viret and Rospars 2010) :

- Une information sur l'intensité de l'odeur perçue (information quantitative) dépendante de sa concentration.
- Une information permettant la reconnaissance de l'odeur (information qualitative), en faisant appel à la mémoire (mémoire olfactive) permettant ainsi d'associer une odeur à un descripteur.

## 2.4. LES SEUILS DE PERCEPTION DES SAVEURS

Les saveurs vont se différencier selon leur nature, selon leur intensité et aussi selon leur durée dans le temps. Deux relations ont été proposées concernant la réponse du stimulus en fonction de la concentration d'une saveur donnée (MacLeod et al. 2009). Selon la loi de Stevens, l'intensité perçue varie avec la concentration du stimulus selon une relation puissance ( $I=kC^n$ ). D'un autre côté, Fechner indique que l'intensité de la sensation varie linéairement avec le logarithme de la concentration ( $I= k \ln S + b$ ). La relation entre le stimulus sensoriel et la réponse sensorielle est définie par des seuils. Quatre seuils ont été définis (Lawless and Heymann 2010) :

- Le seuil de détection (Detection threshold) : valeur minimale du stimulus sensoriel nécessaire à l'éveil d'une sensation mais non identifiable
- Le seuil de reconnaissance (Recognition threshold): valeur minimale d'un stimulus sensoriel permettant d'identifier la sensation perçue (zone liminaire)
- Le seuil différentiel (Differential threshold) : valeur de la plus petite différence perceptible dans l'intensité physique d'un stimulus (zone supra-liminaire : dans cette zone le stimulus est reconnu de manière nette)
- Le seuil de saturation (Terminal threshold) : valeur à partir de laquelle il n'y a plus de différence d'intensité perçue (la sensation ne varie plus lorsque le stimulus augmente)

Ces seuils ont un intérêt pour estimer la sensibilité des juges ou pour estimer des différences entre produits. Les seuils de détection pour des arômes ou des composés sapides sont variables selon la nature des composés et selon les individus. Les différences interindividuelles sont des éléments primordiaux dans les tests d'évaluation sensorielle. Comme l'a démontré Faurion (Faurion 2004), la perception des saveurs n'est pas spécifique à une zone bien définie sur la langue et est différente d'un individu à un autre. Par ailleurs, il existe également des différences quantitatives d'un individu

à un autre. Depuis des années, il a été démontré les différences interindividuelles concernant les molécules de Phénylthiocarbamide (PTC) et celle du 6-n-Propylthiouracil (PROP), molécules à dominance amère. Pour identifier les sensibilités des individus à cette saveur, beaucoup d'auteurs utilisent ces deux molécules, ceci a conduit à diviser la population en deux groupes. Le premier groupe nommé « goûteurs ou Taster » rassemble les personnes sensibles à ces substances et représenterait 70% de la population américaine caucasienne, et un deuxième groupe (30% de la population) qui correspondrait aux « non-goûteurs ou Non-Taster » rassemblant les personnes moins sensibles pour ces deux saveurs (Keller et al. 2002) . Mais cette répartition a une origine génétique. En effet, le gène TAS2R38 serait responsable de cette différence de perception pour le PTC. Bartoshuck (2000) explique aussi que le nombre de bourgeons du goût présents dans la langue influencerait sur la perception des « goûteurs ».

Pour évaluer les différences de sensibilité interindividuelles pour une saveur donnée, il est possible d'utiliser la mesure de seuil de détection. Les études réalisées en ce sens témoignent de cette variabilité. Pour le salé, les seuils de détection peuvent varier entre 5,45 mM (Lucas et al. 2011) à 34 mM (G. Beauchamp, Bertino, & Engelman, 1983; Mitchell, Brunton, & Wilkinson, 2013). Brosvic et McLaughlin (1989) identifient des valeurs encore plus basses, 0,72 mM avec une méthode différente. Pour la saveur amère, le seuil de détection de la caféine reporté par Keast et Roper (2007) est de  $1,2 \pm 0,12$  mM tandis que pour le PROP, le seuil de détection est de  $0,0083 \pm 0,001$  mM. Pour l'acide citrique, le seuil de détection est de 0,17 (0.12–0.26) mM. Brosvic et McLaughlin qui utilisent une autre méthode d'évaluation, identifient un seuil de détection pour l'acide citrique qui varie de 1,47 mM à 0,5 mM, valeurs plus hautes (0,1 mM) que celles identifiées par Weiffenbach et al. (1982) mesurée avec une méthode psychophysique. Différentes raisons expliquent ces différences : le type de molécules (Schiffman et al. 1981), les méthodes utilisées (Wise and Breslin 2013) et les conditions (Brosvic and McLaughlin 1989) mais aussi le type de panel. Certaines études ont démontré que les seuils de détection pour certaines saveurs étaient dépendantes de l'âge (Stevens and Lawless 1981; Mitsuhashi et al. 2008). Hyde et al. (1981) montrent aussi une influence du sexe et du genre sur les perceptions acide et amère.

Toutefois, ces seuils de détection ne sont valables que lorsque la saveur est analysée de manière individuelle. Dans des conditions de mélange, les phénomènes de détection et de perception vont se complexifier et être différents. L'analyse spécifique de ces mélanges a ainsi permis de mettre en évidence plusieurs phénomènes. Généralement, les effets qui ont été observés se limitent à l'étude de deux composés. Keast & Breslin (2002) réalisent une revue concernant l'interaction saveur / saveur et suggèrent qu'à partir de la courbe psychophysique identifiant la position des stimuli gustatifs, il est possible de prédire les interactions importantes en reportant les effets de suppression ou d'exhausteur provenant de mélanges. Breslin (1996) donne des définitions précises concernant

ces effets et souligne que les effets de masquage et de synergie sont des processus non linéaires et sont appliqués quand les concentrations des composés sont à des concentrations supra-liminales. En revanche, dans un processus linéaire, on parle d'effet exhausteur et de suppression quand les composés sont à des concentrations supraliminales.

En conclusion, les humains sont dotés d'un système gustatif très complexe et performant pour détecter les différentes saveurs primaires. Selon les voies de transduction mises en jeu, les saveurs salée, amère, acide peuvent être détectées. Toutefois, selon la nature des molécules et leurs structures, certains types de récepteurs vont être activés notamment pour l'amertume pour laquelle une multitude de composés fait intervenir des récepteurs T2R spécifiques à la reconnaissance de ces molécules. Outre ces modèles de transduction spécifiques à la perception gustative, d'autres facteurs influencent les perceptions sensorielles des aliments. Ces facteurs peuvent être directement liés aux produits (structure, composition) ou liés à des paramètres externes comme la physiologie de l'individu, la génétique (Adler et al. 2000) voire le comportement oral des individus (Neyraud et al. 2003). L'ensemble de ces paramètres va ainsi avoir un impact sur la perception et notamment sur la libération des molécules sapides et/ou aromatiques. Par ailleurs, plusieurs interactions inter-sensorielles peuvent se produire lors de la dégustation comme des interactions saveur / texture, des interactions odeur / saveur (Tournier et al. 2007; Lawrence et al. 2009) et même des interactions saveur / saveur (Keast and Breslin 2002) affectant également les perceptions sensorielles. En ce sens, la description gustative « globale » d'un produit ne se résume pas à l'addition des différentes saveurs prises séparément mais plutôt à une pondération de l'ensemble des interactions entre les différentes saveurs et les autres composants qui constituent l'aliment. Le schéma de Foster et al. (2011) montre justement que la perception sensorielle est un phénomène dynamique qui évolue au cours de la consommation et qui va dépendre notamment des propriétés structurales de l'aliment mais aussi du processus oral qui se passe dans la bouche lors de la fracture de l'aliment (figure 5).

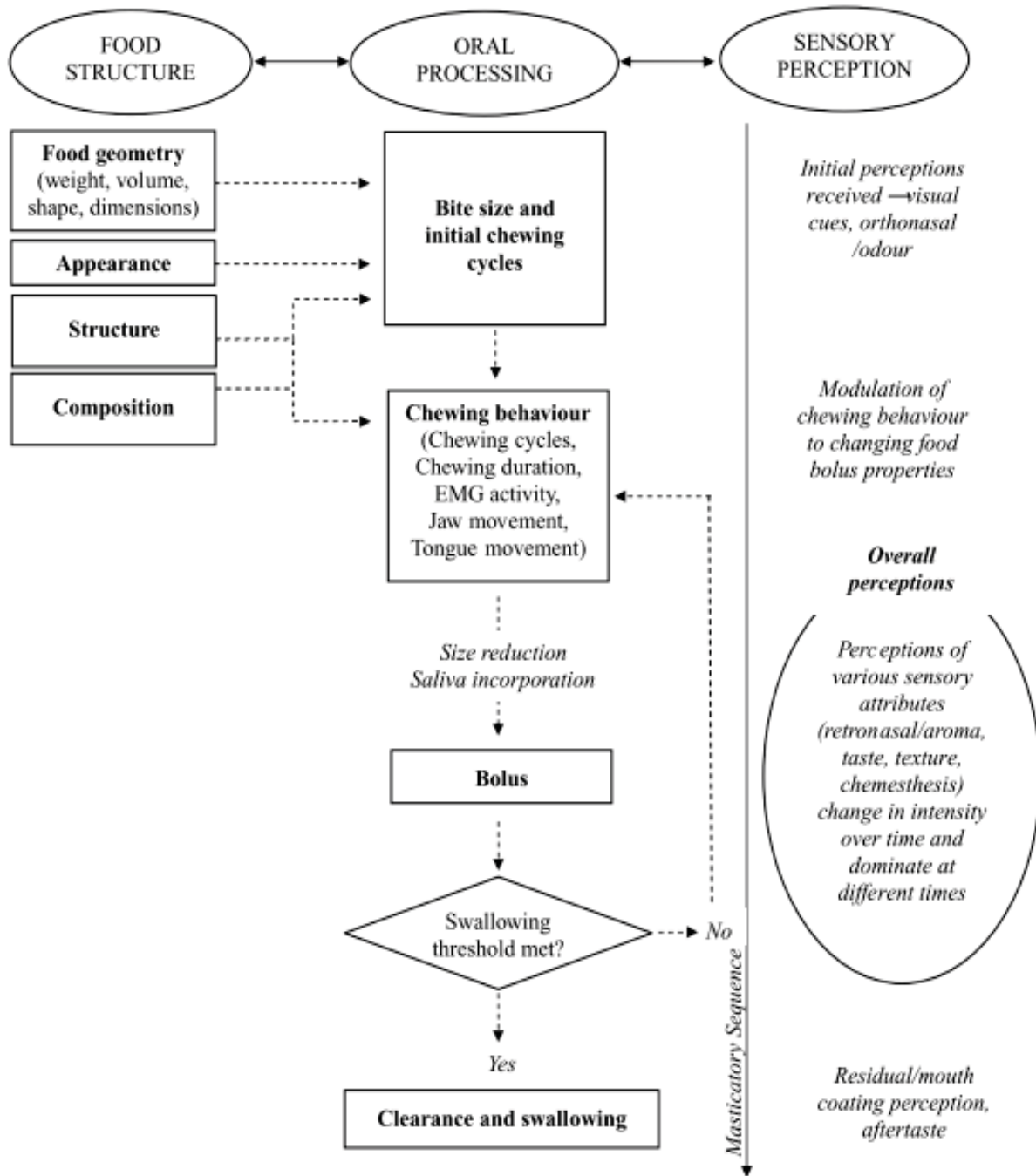


Figure 5 : Présentation des interactions entre les propriétés de l'aliment, le processus oral et les perceptions sensorielles (Foster et al. 2011)

Ces travaux de thèse ne traitent pas directement des interactions entre les différentes modalités sensorielles, toutefois il semble intéressant de citer quelques exemples qui pourront, par la suite, tenter d'expliquer et de mieux comprendre les différences de perception entre les fromages à chaud et à froid.

## **2.5. LES INTERACTIONS INTER ET INTRA-MODALITES SENSORIELLES**

### **2.5.1. Interactions texture-saveur**

Cette interaction a souvent été démontrée dans différents supports, qu'ils soient liquides (Wendin et al. 1997), solides ou semi-solides (Christensen 1980). Différents facteurs liés aux produits, comme la composition ou la structure de la matrice alimentaire, peuvent affecter la libération des arômes et des composés sapides due à des interactions entre les constituants (Guichard 2002; Flourey and Rouaud 2009) ou engendrée par des changements de composition. Les matières grasses, l'eau ainsi que les protéines peuvent interagir avec les arômes et les molécules sapides et ainsi modifier la diffusion de ces molécules (Lauverjat et al. 2009; Boisard 2012). Dans les travaux menés par Tournier et al. (2009) qui étudient les interactions texture-arôme-goût sur de la crème anglaise, il ressort que la perception sucrée augmente quand la viscosité diminue. En revanche, la viscosité n'est pas affectée par le niveau de sucre incorporé dans les matrices (crèmes anglaises).

Concernant la saveur salée, saveur pour laquelle les études se sont focalisées ces dernières années dans l'objectif de réduire la quantité de sel dans les produits alimentaires, il a été démontré que la structure et la composition des constituants (protéines, matières grasses et teneur en eau) avaient une influence sur la libération du sel et sur la perception salée. Panouillé et al. (2011) montrent que les fromages les moins fermes sont perçus comme les plus salés. Saint-Eve et al. (Saint-Eve et al. 2009) montrent l'influence de la composition, de la structure et de la texture des aliments sur la perception salée dans des modèles de produits laitiers. Les auteurs ont pu démontrer des différences de perception en fonction de la texture des modèles. Dans les gels, la perception salée augmente dans les produits plus gras. Phan et al. (2008) montrent que dans des fromages modèles de textures différentes, le relargage du sodium est principalement influencé par la structure de la matrice et de la composition tandis que la perception salée est limitée par la présence de gras, présentant une relation négative. Certains auteurs soulignent que l'effet matrice peut masquer cette perception (Lawrence et al. 2012). En effet, le gras forme un film résiduel sur la langue et le palais ce qui limiterait l'accès des molécules salées avec les bourgeons du goût (Lynch et al. 1993) tandis que d'autres auteurs émettent la possibilité que les acides gras (acide linoléique) ont la capacité de modifier la perception des composés gustatifs en modulant les chaînes DRK (Delayed Rectifying K<sup>+</sup> channels) (Mattes 2007).

### **2.5.2. Interactions arôme-saveur**

Il est assez difficile de dissocier les arômes et les saveurs. Comme discuté dans le chapitre sur les saveurs, ce sont des molécules sapides qui vont être détectées par les bourgeons du goût. En revanche, les arômes, molécules volatiles, vont être libérés au cours de la mastication et vont être acheminés jusqu'aux fosses nasales par la voie rétronasale.

Ces interactions saveur/arôme ont fait l'objet de nombreuses études sur des supports différents (Labbe et al. 2008; Auvray and Spence 2008; Marks et al. 2012; Niimi et al. 2014). Les arômes ont un impact sur la perception mais cette interaction dépend de la nature du composé aromatique (Tournier et al. 2007). En d'autres termes, une saveur sucrée serait perçue plus intense quand elle est associée à un arôme à connotation sucrée. Ce phénomène est décrit comme un phénomène de « congruence ». Labbe et al. (2006) observent une augmentation de l'amertume induite par l'arôme cacao et une augmentation de la saveur sucrée par l'arôme vanille. D'un autre côté, Lawrence et al. (2009) montrent que certaines saveurs (sardine, jambon et bacon) peuvent augmenter et induire la perception salée dans des solutions contenant une teneur faible en chlorure de sodium. Bonnans et Noble (1993) montrent une augmentation de la note fruitée d'une solution aqueuse aromatisée à l'orange sous l'effet de l'acide et du sucré.

Les mécanismes d'interactions saveur / arôme peuvent s'expliquer par des phénomènes physico-chimiques. Par exemple, l'ajout de sel a tendance à augmenter la volatilité des composés aromatiques « Salting out » (Ventanas et al. 2010). Les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  vont s'agréger aux molécules d'eau pour permettre leur hydratation. Avec une augmentation de la teneur en sel, la quantité d'eau va être moins disponible pour la solubilisation des composés aromatiques et va ainsi augmenter le coefficient de partage air / eau. En revanche, les protéines et les lipides peuvent diminuer la libération des saveurs (Guichard 2006; Saint-Eve et al. 2009) selon la nature de la molécule chimique.

D'autres études montrent que ces interactions arôme/saveur ne seraient pas essentiellement dues à des paramètres physico-chimiques mais également à des paramètres cognitifs et psychologiques. En effet, Clark et Lawless (1994) montrent que la réponse d'un jury peut être influencée par le nombre de descripteurs. Lorsqu'un seul descripteur « sucré » est utilisé pour évaluer l'intensité d'une solution de saccharose et d'un mélange de saccharose et d'arôme fraise, le jury donne une intensité sucrée plus intense due à l'association de l'arôme fraise. Ce phénomène est décrit comme un phénomène de report ou « dumping » en anglais.

Une autre interaction qui doit potentiellement intervenir dans les aliments est l'interaction saveur/saveur car il est rare de ne rencontrer qu'une seule saveur dans les produits alimentaires. Les interactions binaires entre les différentes saveurs ont ainsi été largement étudiées (Stevens and Traverzo 1997; Green et al. 2010), préférentiellement dans les solutions aqueuses. Engel et al. (2000b) ont réalisé des tests d'omission, sur la fraction soluble des fromages de chèvre, permettant ainsi d'identifier les composés responsables des perceptions gustatives mais permettant aussi d'identifier les interactions entre certaines saveurs notamment entre le salé et l'acide. Dans une revue, Keast et al. (2002) réalise un schéma récapitulatif de tous les effets entre les interactions des quatre principales saveurs (salée, acide, amère et sucrée) et identifie les effets entre les saveurs pour



chaque portion de la courbe psychophysique (expansive, linéaire et compressive). Toutefois, ces interactions sont très dépendantes de la concentration et de la nature des molécules mises en jeu, c'est pourquoi les interactions avec l'amertume sont très variables (Breslin and Beauchamp 1995; Breslin 1996; Keast et al. 2004). A titre d'exemple, le chlorure de sodium a un effet inhibiteur sur certaines molécules amères. En revanche, l'effet inverse n'est pas observé. Lawless (2003) confirme cet effet avec le chlorure de calcium. L'intensité de l'amertume augmente en fonction de la quantité de chlorure de calcium mais celle-ci diminue par ajout de sel et spécialement à de fortes concentrations de sel (0,1 et 0,2 M).

## **2.6. LA FLAVEUR DES « FROMAGES »**

### **2.6.1. Les arômes**

La norme NF ISO 5492 définit la flaveur comme une « combinaison complexe des sensations olfactives, gustatives et trigéminales perçues au cours de la dégustation ». La flaveur peut être influencée par des impressions tactiles, thermiques, algiques et/ou kinesthésiques. Les flaveurs des fromages ont largement été étudiées dans de nombreuses études sur tous types de fromages (Mcsweeney 1997; Kubícková and Grosch 1998; Hassan et al. 2013). Le fromage est un produit dynamique biochimiquement dont les flaveurs évoluent au cours du temps. Elles vont se développer selon un processus complexe dans lequel les enzymes du lait, les bactéries lactiques, les ferments et la flore secondaire vont intervenir dans la dégradation des protéines, de la matière grasse et des acides organiques. Ces arômes vont être spécifiques et vont varier selon les conditions technologiques et d'affinage pour chacune des catégories de fromages. La composition en molécules aromatiques, aussi bien qualitative que quantitative a été étudiée pour de nombreux fromages au moyen de techniques analytiques (tableau 5). Dans les fromages à pâte persillée et à pâte molle, la famille des méthylcétones est l'une des familles dominantes et représentatives de ces fromages. Comme vu précédemment, ces composés issus de la dégradation des acides gras par lipolyse, subissent une  $\beta$ -oxydation pour donner des cétoacides suivis d'une décarboxylation (par une  $\beta$ -cétoacyl-décarboxylase) (Adda 1982).



Tableau 5 : Exemple de molécules aromatiques responsables des saveurs « clé » de 4 types de fromages (Smit, Smit, &amp; Engels, 2005)

Metabolism	Gouda	Cheddar	Camembert	Swiss-type (and Maasdam)
Amino acid	3-Methylbutanal 3-Methylbutanol Methanethiol Dimethylsulphide (DMS) 2-Methylpropanol Dimethyltrisulphide (DMTS)	3-Methylbutanal Isovaleric acid Methional Methanethiol DMS DMTS	3-Methylbutyrate 3-Methylbutanal Methional Methanethiol DMS Benzaldehyde Phenylacetaldehyde	Methional 3-Methylbutanal Skatole
Sugar	Diacetyl	Propionic acid Diacetyl	2,3-Butanedione	Propionic acid Diacetyl
Fat	Butyric acid Butanon Hexanal Pentanal	Butyric acid Acetic acid 1-Octen-3-one Butanone	1-Octen-3-ol Butyric acid 1-Octen-3-one 2-Undecalactone $\gamma$ -Decalactone	
Rest and combined pathways	Ethyl butyrate Limonene	Ethyl butyrate Ethyl hexanoate	Phenylethyl acetate	Ethyl butyrate Ethyl hexanoate Ethyl-3-methylbutanoate Phenylethyl acetate

Plus spécifiquement, l'heptan-2-one, arôme prépondérant dans les fromages à pâte persillée, a une note de type « bleu » (Adda 1982; Gallois and Langlois 1990; Sablé and Cottenceau 1999; Lawlor et al. 2003) et est présent en quantité variable selon les fromages (Lawlor et al., 2003). En revanche, les cétones octan-2-one, nonan-2-one, decan-2-one ont une note « fruitée, moisie ». En fonction de la durée de l'affinage, les méthylcétones se développent en quantité plus ou moins importante. Certains composés comme le butan-2-one n'apparaissent que dans des fromages très affinés (Molimard and Spinnler 1996). Par le biais de méthodes sensorielles, les saveurs ont été déterminées pour différents types de fromages afin de pouvoir les décrire et identifier les marqueurs aromatiques clés. Rétiveau et al. (2005) ont élaboré un lexique basé sur les saveurs composé de 31 descripteurs pour caractériser 43 fromages français dont le Bleu d'Auvergne et le Bleu des Causses. Le fromage d'Auvergne a été caractérisé par des saveurs très salée, moyennement amère et acide et avec une sensation piquante « biting ». En termes d'arômes, il a été décrit par des notes de « moisi », « animal » et « renfermé » (« sweaty »).

### 2.6.2. Les saveurs

Les arômes sont des attributs déterminants pour la qualité gustative du fromage et pour l'acceptabilité des consommateurs, cependant, les saveurs sont également essentielles pour équilibrer la qualité des fromages. Généralement, les saveurs dominantes sont le salé, l'amertume et l'acidité. Les composés qui contribuent au goût peuvent provenir des matières premières (chlorure de calcium ou chlorure de sodium), être produits au cours des étapes de fabrication (développement de l'acide lactique) ou être formés suite aux réactions biochimiques durant l'affinage. Parmi les différentes réactions, la lipolyse intervient peu dans la contribution gustative des fromages. Certains acides gras à courtes chaînes peuvent pourtant contribuer à l'acidité du fromage. La protéolyse, quant à elle, peut être responsable du goût, lors de la production d'acides aminés ou de petits peptides, dont certains seraient responsables de la saveur amère.

Depuis quelques années, il a été établi que ces composés sapides sont contenus dans la fraction hydrosoluble des fromages (Aston and Creamer 1986; Salles et al. 1995). Cette fraction hydrosoluble non volatile est une solution complexe qui est un mélange de nombreux constituants tels que des acides aminés, des amines biogènes, des minéraux, et des acides organiques (Salles 2000; Andersen et al. 2010). Plusieurs approches ont permis d'expliquer la contribution réelle de ces constituants dans la perception gustative à l'aide de tests d'omission (Engel et al. 2002; Andersen et al. 2010) ou par l'analyse sensorielle des sous-fractions obtenues par perméation sur gel.

L'objectif de mes travaux n'est pas de réaliser des tests d'omissions mais il semble important de décrire les composés contenus dans cette fraction soluble qui pourrait contribuer à la perception gustative des fromages. La saveur sucrée et la saveur umami ne sont pas des caractéristiques gustatives qui permettent de décrire et discriminer les fromages à pâte persillée. De ce fait, seules les saveurs salée, amère et acide seront présentées dans les paragraphes suivants.

### **2.6.3. La saveur salée**

Parmi les composés responsables de la saveur salée, le chlorure de sodium est la principale référence dû à la combinaison des ions  $\text{Na}^+$  avec les ions  $\text{Cl}^-$  (Murphy, 1981). Toutefois, la quantité de sodium n'est pas systématiquement reliée à la perception salée (Floury and Rouaud 2009). La littérature souligne également que d'autres minéraux induisent une perception salée en solution aqueuse. Les sels de calcium en font partie. Toutefois, d'après l'étude de Tortoff (1971), il s'avère que le profil gustatif de différents sels de calcium varie selon la nature des sels (chlorure de calcium, lactate de calcium) et la concentration testée. La perception salée dans le chlorure de calcium n'est perçue qu'à partir d'une concentration de 32 mM. A 100 mM, le  $\text{CaCl}_2$  est jugé comme amer (44%), acide (20%), salé (35%) et sucré (1%). Murphy et al. (1981) testent différents sels halides et montrent que les cations et les anions contribuent au goût de ces différents sels. Le poids des cations n'influence pas le salé des sels mais des anions avec des poids (atomique) faibles donnent des sels plus salés. Plus récemment, dans les fromages de chèvre jeunes, Engel et al. (2000b) montrent que la combinaison de différents sels (sodium, de potassium, de calcium et de magnésium) contribue à la saveur salée. Toujours d'après le même auteur, il est démontré que dans le camembert, seul le chlorure de sodium intervient dans cette perception salée. Certains acides aminés comme l'acide L-glutamique et la proline présentent une saveur salée ainsi que la lysine en mélange avec du chlorure d'ammonium (Schiffman and Engelhard 1976).

### **2.6.4. La saveur amère**

Même si le rejet de l'amertume est présent dès la naissance et peut continuer durant l'adolescence, certaines personnes recherchent la saveur amère. Par ailleurs, cette saveur est un marqueur

déterminant dans la typicité des aliments comme pour le café, la bière, le chocolat ou encore pour certains fromages (Guinard et al. 1996). A forte intensité, l'amertume est considérée comme un défaut mais à des concentrations moyennes, cette saveur correspond à une typicité recherchée pour certains fromages notamment dans les fromages à pâte persillée (Lemieux and Simard 1991). La saveur amère a été largement étudiée dans la littérature. Parmi les différents composés qui peuvent être responsables de cette saveur, on retrouve les acides aminés, les amines biogènes (Kubicková and Grosch 1998), les cétones à longues chaînes, certains monoglycérides (Roudot-Algaron 1996) mais aussi des sels minéraux. Cependant, l'amertume est généralement reliée à la présence de peptides ou d'acides aminés (Guichard 1995). L'amertume des acides aminés mais aussi des peptides dépendrait surtout de leur nature, du nombre de chaînes latérales et de l'hydrophobicité de la molécule. D'après Ney (1971), il serait possible de prédire l'amertume en calculant l'hydrophobicité moyenne d'un peptide. Parmi les acides aminés hydrophobes, la leucine, l'isoleucine, la phénylalanine et la tyrosine sont connues pour leur amertume (Kato et al. 1989). Bien que non hydrophobe, la méthionine et la valine présentent aussi cette saveur (Kirimura et al. 1969). La position des acides aminés dans la chaîne peptidique joue également un rôle, comme par exemple la leucine lorsqu'elle est placée en position C terminale du peptide (Ishibashi 1988). Par ailleurs, le développement serait étroitement lié à la protéolyse (Berdague et al. 1988; Molimard 1994). De nombreuses études ont montré que le développement de l'amertume était le résultat d'une accumulation anormale de peptides hydrophobes largués au cours de la protéolyse des caséines et plus particulièrement la caséine  $\alpha_1$ , qui pourrait être la première source de peptides amers (Richardson and Creamer 1973).

Concernant les minéraux responsables de l'amertume, le chlorure de calcium et de potassium peuvent être cités. Ce dernier a souvent été utilisé comme substituant au chlorure de sodium mais s'est avéré peu prometteur, ayant une influence sur les qualités aromatiques et texturales (Frank and Mickelsen 1969; Gelabert et al. 2003).

### **2.6.5. La saveur acide**

Cette saveur est présente dans les fromages et dépend essentiellement de la quantité d'ions  $\text{H}_3\text{O}^+$ . Généralement ce sont des acides organiques dont la taille, la polarité, le pH et selon leurs concentrations vont influencer l'intensité de la perception acide (Sowalsky and Noble 1998). Dans le fromage, l'acide lactique va être l'un des acides dominants pour lequel la concentration dépendra du pH et des microorganismes présents dans la matrice fromagère. Concernant les autres familles chimiques, trois acides aminés présentent cette saveur : acide glutamique, acide aspartique et l'asparagine (Kirimura et al. 1969; Guichard 1995) ainsi que les peptides comportant l'un de ces acides aminés. Le principal acide dans les fromages est l'acide lactique, dont la concentration varie principalement avec le pH et selon les bactéries lactiques présentes dans la matrice fromagère.

Généralement, les modèles statistiques relient le pH à l'acidité. Cependant, cette relation n'est pas toujours vérifiée (Biede and Hammond 1979). L'intensité de l'acidité peut être modulée selon la quantité de chlorure de sodium, due à l'effet exhausteur du sel (Engel et al. 2000a). Stampanoni et al. (1991) montrent qu'une variation de sel et d'acide lactique en quantité importante augmente la perception acide dans les fromages. Par ailleurs, la nature de certains acides gras notamment à courtes chaînes pourrait être responsable de l'acidité (Ercan et al. 2011). Cependant la perception gustative des acides peut également provoquer des perceptions piquante ou irritante. De ce fait, certains acides, dépendants de leur polarité, de la nature de la molécule et de la concentration vont favoriser et solliciter le système trigéminal (Settle et al. 1986).

Pour résumer, de nombreuses molécules présentent des qualités gustatives qui leurs sont propres. La plupart de ces composés peuvent se retrouver dans les fromages. Toutefois selon la concentration de ces molécules, qui contribuent à exprimer une saveur, cette saveur sera ou non identifiée. En d'autres termes, si cette concentration est plus basse que le seuil de perception, la saveur ne sera pas perçue.

### **3.IMPACT DU CHAUFFAGE SUR LES PERCEPTIONS SENSORIELLES**

La première vocation du chauffage d'un aliment est de le faire cuire ou de le réchauffer. Dans le cas des fromages, le chauffage a pour but de le faire fondre. De ce fait, la structure du fromage va être modifiée et va changer de comportement. De même, les qualités olfacto-gustatives du fromage vont être modifiées. Quelles sont réellement les conséquences sensorielles induites par le chauffage et comment la température est-elle perçue par les individus ?

Les études se sont portées majoritairement sur la Mozzarella, le Cheddar ou l'Emmental (Richoux et al. 2001) ou sur les fonctionnalités des fromages analogues (Reparet 2000). Dans un premier temps, nous allons étudier l'impact du chauffage sur les propriétés fonctionnelles des fromages à chaud. Ensuite, nous aborderons l'impact du chauffage sur les perceptions aromatiques et gustatives.

#### **3.1. IMPACT DU CHAUFFAGE SUR LES PROPRIETES FONCTIONNELLES**

Avant de décrire l'impact du chauffage sur les propriétés fonctionnelles des fromages à chaud, il est nécessaire de déterminer le sens des « propriétés fonctionnelles » dans le fromage. Pour le nutritionniste, les fonctionnalités d'un aliment vont apparaître comme la capacité à intervenir sur les fonctions de l'organisme, pour en moduler l'activité (Méjean et al. 2006; Pascal et al. 2006) Ainsi, les propriétés fonctionnelles associées à cet aliment vont avoir un rôle positif ou négatif sur le processus physiologique de l'Homme.

Mais les propriétés fonctionnelles de l'aliment, composé de micro- et macromolécules, vont être définies différemment selon le point de vue du biochimiste. D'après Lorient et al. (1991), « les propriétés fonctionnelles se définissent comme étant la fonctionnalité des macromolécules alimentaires qui représente l'expression et la participation des propriétés physiques et physico-chimiques au niveau des qualités sensorielles des aliments qui les contiennent ». En d'autres termes, cela signifie qu'en fonction de l'état des molécules, de leur conformation mais aussi de leur état d'association entre elles ou avec d'autres molécules, les propriétés fonctionnelles vont être différentes mais dépendantes de ces facteurs. Lorient et al. (1991) définissent et expliquent notamment les principales propriétés fonctionnelles des protéines. Selon le type de protéines, elles présentent des caractéristiques spécifiques et pourront être utilisées pour des usages précis. Dans le fromage, les protéines sont les molécules qui vont avoir un rôle primordial dans les propriétés fonctionnelles.

Dans le cadre de l'utilisation des fromages comme ingrédients dans des préparations culinaires chaudes ou froides, les propriétés fonctionnelles sont en lien avec leurs caractéristiques technologiques (aptitude culinaire, thermo-fonctionnalité...). Le tableau 6 liste quelques propriétés fonctionnelles spécifiques pour certains fromages selon le type d'utilisation. Pour les fromages à chaud, les fonctionnalités les plus recherchées par les industriels pour répondre aux attentes des consommateurs sont notamment l'étalement à chaud, le filant, le gratiné, l'exsudation de gras (Lucey 2008).

Tableau 6 : Utilisation de différents fromages en tant qu'ingrédient dans des préparations culinaires (Lucey, 2008)

<b>Foods</b>	<b>Commonly used cheese varieties</b>	<b>Properties required by the cheese</b>	<b>Cheese form</b>
<b>Appetizers</b>			
Spreads, Dips	Cream cheese, Cheddar	Smooth consistency after mixing, creamy flavor, good base for other flavors	Original cheese form, cheese powder
Tortilla Chips	Cheddar	Strong "cheese" flavor, good adhesion with corn chips	Shredded or ground cheese, cheese powder
Nacho Sauce	Processed cheese, Asadero	Good meltability, yellow color, flow, creaminess, adhesion	Cheese spread
<b>Bread and Baked Goods</b>			
Breads, Bagels	Romano, Asiago, Parmesan	Strong baked through flavor, lower moisture cheeses for use inside a baked item, browning, adhesion	Cheese powders, grated cheese
Mascarpone Muffins	Mascarpone	Moistness, flavor	Original cheese form
<b>Entrees</b>			
Enchiladas	Cheddar, Monterey Jack, Queso Fresco	Gratability, some meltability and flow, non-melting crumbled topping	Crumbled or grated cheese
Chicken Cordon Bleu	Gruyere, Swiss cheese	Soften but not excessive flow during baking	Slices or grated cheese
Quiche Lorraine	Swiss cheese	Softening, flavor, texture	Grated cheese
Pasta sauces	Gorgonzola, Fontina, Grana, Romano, Parmesan, Ricotta	Strong cheese flavor, meltability, creaminess	Crumbled, grated or cheese powder
<b>Sauces, Soups, Dressings</b>			
Cheese Soup	Processed cheese, Aged Cheddar	Flavor, stability to thermal processing for liquid products, ease or reconstitution for dehydrated products, choice of aged over young cheese for better meltability	Cheese powders for dehydrated soups, shreds or spreads for liquid product
Macaroni cheese sauce	Cheddar, processed cheese	Easy melt and flow, freeze-thaw stability, stable to thermal processing, aged cheese for better melt	Cheese powders, shreds, grated cheese, ready-to-use sauces, enzyme modified cheese
Salad dressings	Cheddar, Parmesan, blue, Romano, cream and Ricotta	Distinctive or characteristic cheese flavor, smoothness, flow/consistency required for the viscosity of the dressing	Spoonable, pourable and powdered forms, ready-to-use dressings,
Alfredo Sauce	Parmesan	Flavor, creamy texture	Grated
<b>Sandwiches and Snacks</b>			
Pastry Pockets	Mozzarella, imitation cheese	Controlled or restricted melt, pumpability, freeze-thaw stability, microwavable	Original cheese form, heated for filling, pumping or extrusion
with meat and cheese fillings	Cheddar, Swiss, Brie	Meltability, flavor	Sliced
Panini Grilled Sandwich	Cheddar, skim curd cheese	Strong baked through cheese flavor, adhesion during cracker manufacturing	Cheese powders, ground cheese, enzyme modified cheese
Crackers			
<b>Side Dishes</b>			
Au gratin Potatoes	Swiss, Cheddar, Parmesan	Flavor, browning	Grated
Risotto	Parmesan, Romano	Flavor, rich creamy texture	Grated
<b>Desserts</b>			
Tiramisu	Mascarpone	Rich, creamy flavor, soft texture	Original cheese form
Pastry and pie fillings	Cream cheese, Ricotta, Cottage cheese, Neufchatel	Softness, not runny during baking, rich creamy flavor, pumpability	Original cheese form or processed
Cheesecake	Cream cheese, Neufchatel or Baker's cheese (lower fat content), quark or Ricotta (low fat versions used in Europe)	Provides texture, lightness, smoothness, absence of grittiness or graininess, ease of mixing in the preparation of batters, soften but not flow during baking	Original cheese form



Pour étudier les propriétés fonctionnelles des fromages pour lesquelles une définition bien spécifique est associée, de nombreuses techniques instrumentales (tableau 7) ou tests empiriques sont utilisés (test de Schreiber, d'Arnott, du tube, de perte de fonte).

Tableau 7 : Propriétés fonctionnelles principales des fromages associées d'une définition et des techniques permettant de mesurer ces paramètres (Kapoor and Metzger 2004)

Termes descriptifs	Définition	Mesures techniques
Fondant ; étalement	Traduit la capacité à fondre du fromage sous l'action du chauffage	Test de Arnott Test de Schreiber Rhéomètre à cisaillement dynamique (Dynamic Shear Rheometry - DSR) Analyse de la viscosité (Rapid Visco Analyser- RVA) Analyse du fondant (UW Meltmeter)
Viscosité	Traduit la capacité du fromage à s'étaler quand il est complètement fondu	Test Arnott Test de Schreiber Analyse du fondant (UW Meltmeter) Test du tube Rhéomètre à cisaillement dynamique (Dynamic Shear Rheometry - DSR) Analyse de la viscosité (Rapid Visco Analyser- RVA)
Capacité à filer	Traduit la capacité du fromage chauffé à former des fils quand on l'étire	Test à la « fourchette »

### 3.1.1. Le brunissement (browning)

La couleur qui relève de la vision est l'une des caractéristiques majeures lors de la cuisson des fromages. Un fromage ayant une couleur brune et gratiné est signe que le fromage est fondu et peut être dégusté. Le brunissement de surface du fromage lors de la cuisson est le résultat de l'interaction, sous l'effet de la chaleur, des sucres et des acides aminés. Durant la fabrication fromagère, le lactose est métabolisé en galactose et en glucose tandis que la caséine est soumise à l'action d'enzymes. Celles-ci vont agir sur la protéolyse permettant ainsi la dégradation progressive des protéines en acides aminés. La teneur en galactose résiduel et l'intensité de la protéolyse secondaire (lors de l'affinage) ont été identifiés comme des facteurs majeurs du brunissement. La réaction de Maillard est donc responsable de la couleur du fromage gratiné et de la formation d'arômes caractéristiques qui ajoutent à l'appétence des plats cuisinés. Elle va donc avoir un effet favorable ou défavorable sur les propriétés fonctionnelles, sensorielles et nutritionnelles. Selon les auteurs et les objectifs, différents protocoles permettent de mesurer les paramètres de brunissement (Matzdorf et al. 1994; Richoux et al. 2001). La technique utilisée est généralement la colorimétrie. Une corrélation positive a été établie entre la quantité de galactose et l'intensité de la couleur brune quand la Mozzarella est chauffée (Johnson and Olson 1985). Si les sucres ne sont pas éliminés du caillé lors du filage, ils peuvent rester au moins un mois après l'affinage.

### 3.1.2. L'étalement à chaud (meltability)

L'étalement à chaud traduit la capacité à fondre et à se répandre, mais peut être défini aussi comme la perte de la forme du fromage (Lucey et al. 2003) et la distance à laquelle le fromage va se répandre. Mais à quel moment peut-on dire que le fromage est fondu ? D'après Rüegg (2007), les caractéristiques de l'étalement sont (i) le fromage est fondu à une certaine température, (ii) il doit rester homogène en apparence et en bouche (texture non granuleuse), (iii) la viscosité apparente doit être optimale. Le test de Schreiber est l'un des tests qui permet d'évaluer l'étalement du fromage. Le principe est de mesurer la distance d'étalement du fromage évaluée à différentes températures pendant un temps donné. Selon le test original de Schreiber, un morceau de fromage (41 mm de diamètre et 4,8 mm de hauteur) est placé au centre d'une grille cible et est chauffé à 232°C pendant 5 minutes (Altan et al. 2005). Ce test a souvent été adapté en faisant varier la forme, la dimension, et la méthode de mesure. Le tableau 8 liste différents protocoles utilisés pour mesurer l'étalement à chaud des fromages selon différents auteurs.

Tableau 8 : Protocoles utilisés pour mesurer l'étalement selon différents auteurs

Articles	Conditions Couple/Température	Fromages étudiés	Conclusion
Effect of heat treatments on the meltability of cheeses (kuo) <sup>1</sup>	T° = 60°C Temps = 0, 10 et 20 min	Cheddar, Mozzarella	Les effets de temps sont indépendants du type de fromages et de la composition. En revanche, les fromages jeunes sont peu affectés par la durée mais en revanche les vieux fromages s'étalent moins bien quand la durée augmente.
Effect of certain chemical factors on the melting quality of process cheese <sup>2</sup>	Four T° = 100°C Temps = 15 min		Le pH, la quantité de gras et l'humidité ne sont pas significatifs. Seule la quantité de tyrosine libre est significative. La qualité de l'étalement augmente avec la quantité de tyrosine : relation entre l'étalement et la dégradation des protéines
Low moisture Mozzarella cheese from whole milk retentate of ultrafiltration <sup>3</sup>	Four T° = 100°C Temps = 10 min	Mozzarella	
Changes in the composition and meltability of Mozzarella Cheese during contact with pizza sauce <sup>4</sup>	Four T° = 100°C Temps = 30 min	Mozzarella	Il y a une migration de composés entre le fromage et la sauce pizza.
Proteolysis and rheology of low fat and full mozzarella cheeses prepared from homogenized milk <sup>5</sup>	T°= 232°C Temps = 5 min	Mozzarella	Avec l'affinage, la fonte augmente mais elle diminue avec la diminution de matière grasse, l'homogénéisation, température de chauffage.
Relation between melting and textural properties of process cheddar cheese <sup>6</sup>	Four électrique T° = 139°C Temps = 6 min	Cheddar	Corrélation entre l'étalement à 139 °C et la cohésion à 21°C. Influence du temps de chauffage à 74°C sur ces deux paramètres.  Pas d'effet âge sur la fonte.

<sup>1</sup>(Kuo et al. 2001); <sup>2</sup>(Arnott et al. 1957) ; <sup>3</sup>(Harvey et al. 1982) ; <sup>4</sup>(Tunick et al. 1993) ; <sup>5</sup>(Wang et al. 1998) ; <sup>6</sup>(Fife et al. 2002) (Fernandez and Kosikowski 1986)



Globalement, la teneur en humidité, le calcium, la quantité de matière grasse et le degré de protéolyse sont les facteurs qui influencent grandement la qualité d'étalement des fromages à chaud. Un degré de protéolyse avancée est accompagné généralement d'une augmentation de l'étalement (due au nombre de liaisons qui diminuent dans la matrice et la perte de calcium insoluble des particules de caséines) (Tunick et al. 1993). Le rôle du calcium est également important. Celui-ci se fixe aux caséines, ce qui diminue la capacité de rétention de l'eau et de ce fait engendre une diminution de la qualité de l'étalement. Quant au gras et à la quantité d'eau, ils agissent comme des lubrifiants et augmentent la capacité du fromage à fondre (Feeney et al. 2001).

### **3.1.3. Le filant (stretchability)**

Beaucoup de fromages sont utilisés sur les pizzas et le filant est l'une des qualités attendues par les consommateurs. Par définition le filant peut se traduire par la formation de fils lorsque l'on exerce une traction sur le produit. Les tests les plus couramment utilisés sont le test de la fourchette, le test de résistance à l'étirement et le test de résistance avec une sonde à trois crochets. Tous ces tests sont réalisés à température ambiante ce qui donne des résultats peu reproductibles.

A ce jour, la majorité des tests utilise une machine de compression/traction qui reproduit le geste du consommateur. Même si les conditions expérimentales ne sont pas les mêmes entre les différents auteurs (Fife et al. 2002; Hicsasmaz et al. 2004; Richoux et al. 2008), certaines relations ont été démontrées entre le caractère filant et les propriétés physico-chimiques et/ou biochimiques des fromages. La teneur en calcium, le temps d'affinage (ou degré de protéolyse) et la quantité de gras constituent des paramètres déterminants pour les propriétés filantes (Feeney et al. 2001; Lucey et al. 2003). Guinee et al. (2000) montrent une interaction significative entre le degré d'affinage et la quantité de gras pour le Cheddar. Les propriétés filantes des fromages les plus gras augmentent rapidement puis diminuent à partir du 50<sup>ème</sup> jour. La réduction de calcium tend à une augmentation de ce paramètre (Pastorino et al. 2003).

### **3.1.4. L'exsudation de gras (oiling-off)**

Lors du chauffage, la matière grasse va se séparer du fromage fondu et va former des petites poches d'huile à la surface du fromage. Ce phénomène se traduit par le terme « Exsudation de gras ». L'exsudation d'huile en proportion modérée donne un aspect brillant et attirant en revanche, en trop forte proportion, ce paramètre est considéré comme un défaut et va devenir un frein pour le consommateur. Deux méthodes peuvent mesurer ce paramètre soit en plaçant un échantillon de fromage calibré sur papier filtre selon des conditions de température et de temps définies (Breene et al. 1964) soit par une méthode quantitative basée sur une succession de centrifugations qui a été proposée par Kindstedt et Rippe (1990). L'exsudation de gras est en lien avec les autres propriétés. La surface huileuse va limiter la déshydratation des fromages (rôle protecteur) permettant ainsi de

limiter le brunissement trop rapide. Par ailleurs, cette exsudation d'huile va jouer un rôle lubrifiant et de ce fait faciliter l'étalement. Des paramètres physico-chimiques comme la quantité de gras/sec ou la teneur en sel peuvent affecter cette exsudation. Le sel jouant un rôle d'émulsifiant, freine la coalescence des globules gras et limite leur remontée (Rowney et al. 2004).

En résumé, les propriétés fonctionnelles sont des paramètres importants pour caractériser les fromages à chaud, décrits par des grandeurs instrumentales et qui peuvent être modulées selon les paramètres physico-chimiques. Certains paramètres de texture issus de mesures spectrales peuvent être utilisés pour prédire les attributs de texture mesurés par analyse sensorielle (Jacquot et al. 2014). Ces termes fonctionnels peuvent être transposés dans le langage sensoriel puisqu'ils présentent des définitions communes. Cependant, certaines de ces propriétés fonctionnelles ne seront peut-être pas perçues ou interprétées de la même façon par les consommateurs. Reparet (2000) relie les termes sensoriels et les termes fonctionnels. Le vocabulaire lié au domaine du sensoriel est plus riche et diversifié pour exprimer un même et seul descripteur comme l'étalement à chaud (tableau 9).

Tableau 9 : Relation entre les descripteurs sensoriels et les propriétés fonctionnelles (Reparet 2000)

Descripteurs sensoriels	Propriétés fonctionnelles
<b>Nappant</b>	Etalement à chaud
<b>Coulant</b>	
<b>Fondant</b>	
<b>Etalement à chaud</b>	
<b>Capacité à filer/filant</b>	Filant
<b>Exsudation de gras</b>	Exsudation de gras

Dans le cadre de cette thèse, ces propriétés fonctionnelles seront définies et mesurées à l'aide de méthodes sensorielles.

Bien que ces propriétés fonctionnelles soient fondamentales pour les fromages à chaud, le chauffage n'impacte pas uniquement l'aspect et la texture, il va aussi modifier les saveurs des fromages.

### 3.2. IMPACT DU CHAUFFAGE SUR LES FLAVEURS

L'amertume dans la bière chaude ou le sucré dans la glace fondue sont les conséquences de la température (les plus citées) sur les perceptions gustatives, cependant l'effet de la température sur le goût reste assez controversé. Les premières recherches consacrées à l'effet de la température sur le goût ont envisagé plusieurs théories. Il a été émis l'hypothèse que la sensibilité thermique des réponses gustatives pouvait être basée sur des processus enzymatiques ou physicochimiques (Sato 1967). Certaines études psychophysiques ont observé que les seuils de concentration pour les 4 saveurs primaires montraient une relation de dépendance, en forme de U, avec la température pour

laquelle les seuils les plus faibles seraient compris entre 22 et 32°C (McBurney et al. 1973). Cette dépendance de température à l'intensité du goût varierait selon les concentrations supraliminales des stimuli. Bartoshuk et al. (1982) montrent que la perception sucrée du saccharose dépend aussi bien de la température que de la concentration. A de faibles concentrations, la perception sucrée augmente avec la température. Toutefois, ces effets sont diminués progressivement quand les concentrations deviennent plus élevées et ils deviennent négligeables à partir de 0,5M. Calvino (1986) montre également que l'augmentation de la saveur sucrée du saccharose dépend de la température selon la concentration. Cependant, ces effets ne peuvent être généralisés et se réfèrent à des molécules spécifiques. En contraste avec le saccharose, le sucré de la saccharine n'est affecté ni par la température de la solution ni par la température de la langue. D'un autre côté, l'amertume de la caféine diminue avec le refroidissement de la langue (Green and Frankmann 1987) tandis qu'un autre composé amer, la quinine, est affecté par le réchauffement de la langue. L'ensemble de ces résultats suggère que la température module directement la transduction gustative et que cette modulation thermique souligne une hétérogénéité dans les mécanismes de transduction gustative. Dans la revue de Talavera (2007), il indique que certaines fibres gustatives notamment les fibres sensibles au sucré pourraient être sensibles à la stimulation thermique (Nakamura and Kurihara 1991). Ceci pourrait expliquer le phénomène découvert par Cruz et Green (2000), appelé « **Thermal Taste** » . Ce phénomène décrit les individus qui ont la capacité de percevoir un autre goût « fantôme », différent de celui qui est attendu lorsque la langue subit des modifications de températures extrêmes (chauffage ou refroidissement). Ces personnes présentent une sensibilité gustative et trigéminale plus forte que les personnes de type Thermal non Taster aux changements de température. Comme pour la mesure de la sensibilité à l'amertume, les individus ont également été catégorisés en 2 groupes : Thermal Tasters (TTs) ou Thermal non Tasters (TnTs) en se basant sur leurs capacités à percevoir un goût après une simulation thermique. Yang et al. (2014) mettent en évidence les effets de température sur la perception des Thermal Tasters (TTs) et les effets entre les Thermal Taster et des PropTasters (PTs) sur les perceptions olfacto-gustatives. Les seuils de détection ont été mesurés sur plusieurs saveurs et arômes. Ces résultats montrent qu'il n'y a pas d'effet groupe pour les PTs sur les seuils pour l'ensemble des saveurs étudié. En revanche, pour le groupe des Thermal Taster, les TTs présentent un seuil légèrement plus bas que les TnTs pour la saveur sucrée. Par ailleurs, cette étude observe que les Thermal Taster identifient un goût métallique après une simulation thermique. Plusieurs mécanismes pourraient expliquer cette perception métallique que ce soit la stimulation de la voie gustative qui stimulerait à son tour les papilles fongiformes ou par un mécanisme multimodal qui impliquerait les voies gustative, olfactive et trigéminale.

Les Thermal Tasters, après une simulation de chauffage de la langue, perçoivent un goût sucré. À l'inverse après un refroidissement de la langue, les saveurs acide et amère sont perçues. Les mécanismes de ce phénomène sont encore mal connus, cependant il a été émis l'hypothèse que cette sensibilité thermique pourrait être reliée à l'implication de différents canaux de la transduction gustative. Talavera et al. (2007) émet l'hypothèse que l'activation par la température des canaux TRPM5 est impliquée dans la perception des saveurs sucrée, amère et umami. Pour le salé, d'autres types de canaux seraient activés par la température.

L'effet de la température n'a pas seulement été testé sur les solutions aqueuses mais aussi sur des aliments solides (Drake et al. 2005; Kim et al. 2014) ou liquides (Ross and Weller 2008; Brown and Diller 2008). Généralement, la température de service peut avoir une influence sur les préférences des consommateurs (Borchgrevink et al. 1999; Drake et al. 2005). À titre d'exemple, Cardello et al. (1982) ont montré que différents types d'aliments sont mieux appréciés lorsqu'ils sont servis à une température à laquelle ils sont généralement dégustés (figure 6). À titre d'exemple, le café est plus apprécié à une température de 57°C qu'à une température de 4°C et inversement pour la limonade.

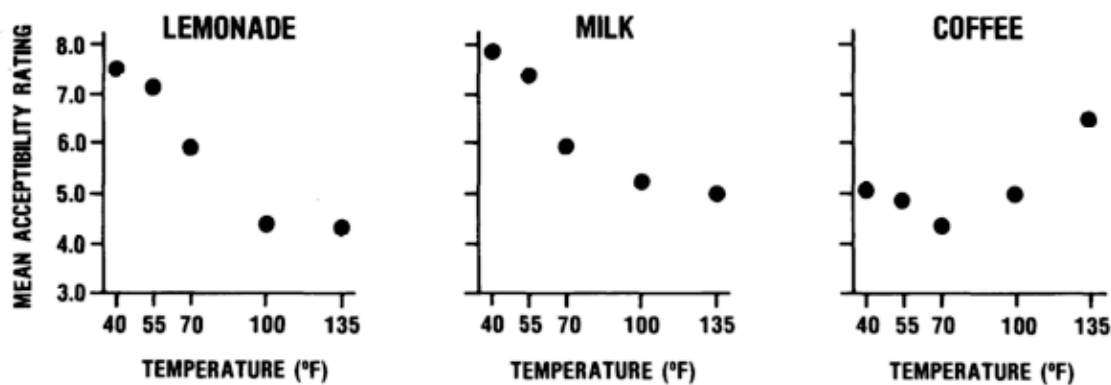


Figure 6 : Moyenne des notes d'acceptabilité de 3 boissons selon la température de service (en degré Fahrenheit)(Cardello et al. 1982)

La température a également un effet sur la perception des attributs sensoriels (Kähkönen & Tuorila, 1998). Kim et al. (2014) évaluent l'intensité de la perception salée dans des solutions aqueuses et dans 2 types d'aliments (poulet rôti et soupe). De cette étude, ils démontrent que les consommateurs identifient une différence de perception salée, celle-ci étant notée moins salée dans les aliments servis à 70°C et 80°C que ceux servis entre 40°C et 60°C et observent une interaction entre température / perception salée et les préférences. Ils indiquent par ailleurs que la température de service des soupes et les habitudes alimentaires des consommateurs sont des facteurs qui influencent la perception salée des soupes. À l'inverse, Rosett et al. (1997) montrent que la perception salée ainsi que les autres attributs de saveurs des soupes réduites en sodium fabriquées à base d'épaississant ou non, n'ont pas été influencés par la température. Toutefois, certaines soupes

(amidon de pomme de terre ou gommex xanthane, carboxyméthylcellulose) présentent une perception salée plus intense à température ambiante qu'à 60°C.

Dans l'étude Engelen et al. (2003), deux points sont soulevés : l'effet de la température des produits (10°C, 22°C et 55°C) mais aussi l'effet de la température de rinçage de la bouche (10°, 35° et 55°C) sur deux types de produits (mayonnaise et crème anglaise). Les résultats font ressortir que la température des produits a un effet sur les descripteurs d'odeur, de flaveur et de texture. Les propriétés olfacto-gustatives sont plus intenses à chaud qu'à froid.

L'effet de la température orale peut également influencer la perception de l'intensité des attributs sensoriels. Dans l'étude menée par Mela et al. (1994) sur des émulsions grasses, la température orale et la température des produits n'affectent pas la perception grasse des émulsions. En revanche, Engelen et al. (2003) montrent un effet de la température orale (27°C, 35° ou 43°C) sur des produits semi-solides (mayonnaise et crème anglaise) pour lesquels les intensités des odeurs et des flaveurs diminuent quel que soit le type de produit. Mony et al. (2013) démontrent que la température de l'eau (4°C, 20°C et 50°C) affecte les préférences (uniquement sur le chocolat et non sur le Cheddar) et la perception sensorielle de certains attributs.

### 3.3. SYNTHESE

Au regard de ces différentes études, il s'avère que le traitement thermique semble être un facteur externe important qui va impacter les différentes qualités sensorielles des fromages. En termes de texture, la température va modifier la structure. Elle modifie en effet la composition physico-chimique (perte d'eau, fonte des matières grasses et diminution du nombre de liaisons) ce qui va engendrer un réarrangement des molécules (formation de nouvelles interactions liaisons hydrophobiques...). Au niveau olfacto-gustatif, les intensités des flaveurs vont évoluer selon la nature des produits (Ryynänen et al. 2001) et des molécules étudiées. Même si les propriétés fonctionnelles des fromages à chaud ont souvent été étudiées sur des fromages tels que la mozzarella, le cheddar ou la raclette, le nombre d'études portant sur les perceptions sensorielles induites par le traitement thermique reste limité. D'un autre côté, la température de service s'avère également un critère pouvant modifier la perception ou l'acceptabilité des produits. En prenant en compte ces considérations, il sera donc très important de contrôler aussi bien la température de service des produits que la température de rinçage. Par ailleurs, l'étude des perceptions gustatives semble être complexe. Les différentes interactions possibles entre la matrice et les composés sapides et aromatiques, tout en prenant en compte la variabilité des individus et les différents mécanismes pouvant participer à une stimulation thermique rendant l'interprétation délicate (Delwiche 2004).

## 4. LE DETERMINISME DES PREFERENCES

### 4.1. LES PREFERENCES ALIMENTAIRES

Aujourd'hui, notre société propose une multitude de références alimentaires et l'innovation alimentaire est un secteur en pleine expansion. Dans ce contexte, les goûts et les préférences alimentaires sont diverses et évoluent selon les consommateurs. C'est pourquoi les déterminants des préférences alimentaires sont multiples et souvent difficiles à interpréter. Ainsi, les préférences alimentaires ne sont pas essentiellement guidées et formées par les facteurs intrinsèques du produit (propriétés sensorielles) mais aussi par d'autres éléments extérieurs, qui peuvent influencer de manière non négligeable les préférences (Ventura and Worobey 2013). En effet même si le plaisir sensoriel fait partie intégrante du choix alimentaire, celui-ci doit tenir compte d'autres facteurs comme l'expérience antérieure liée à un produit et le vécu alimentaire des individus (Urdapilleta et al. 2001). Par ailleurs, l'individu en lui-même, son état physiologique et psychologique, son éducation (Birch 1980) sont des facteurs qui rentrent en jeu. C'est le cas également des données sociodémographiques, et des facteurs culturels et sociaux (King et al. 2004). La figure 7 illustre les différentes sources pouvant influencer les préférences alimentaires.

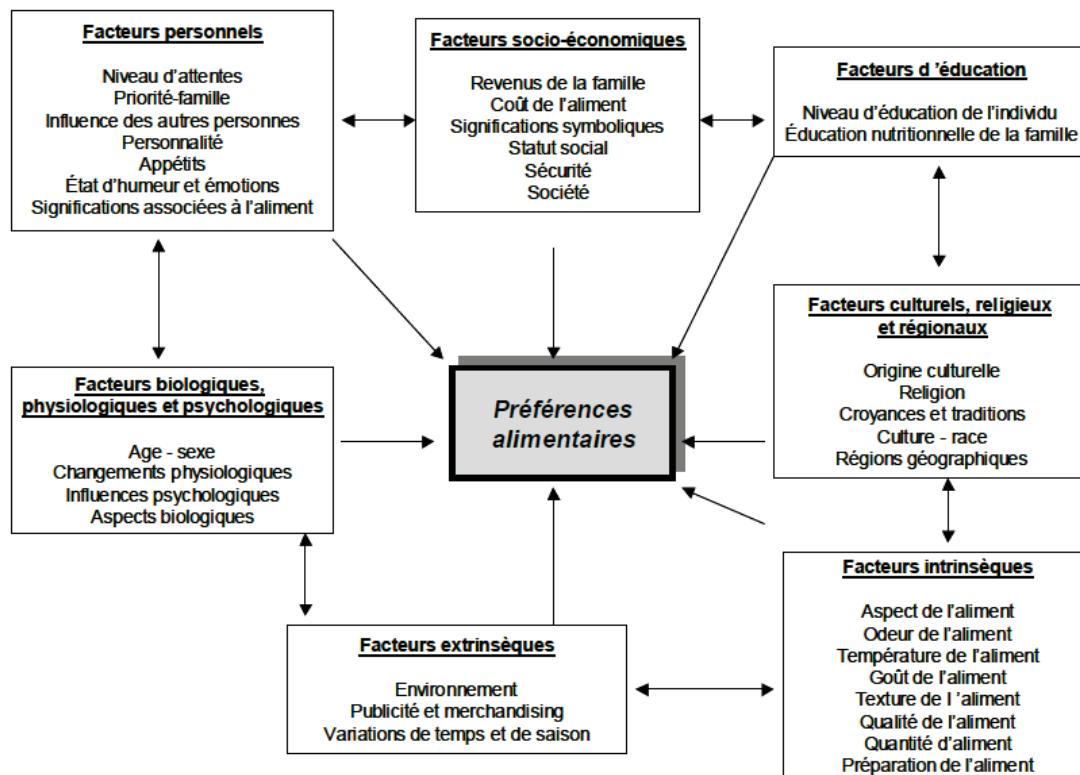


Figure 7 : Facteurs influençant les préférences alimentaires (Khan MA, 1981)



## 4.2. LES PREFERENCES GUSTATIVES

Parmi toutes les modalités sensorielles définissant les aliments, le goût est l'un des facteurs qui joue un rôle dans le choix alimentaire. Même si les préférences gustatives sont guidées par des facteurs génétiques, elles diffèrent selon les consommateurs et surtout selon leurs apprentissages et leurs expériences sensorielles mais également selon d'autres facteurs tels que le poids des personnes (Cox et al. 2015). Ces variations de préférences gustatives pourraient être liées à la sensibilité de chaque consommateur pour une saveur donnée. En d'autres termes, certains consommateurs, plus sensibles que d'autres à certaines saveurs, pourraient plus facilement accepter ou rejeter les aliments ayant une dominance gustative spécifique.

Les préférences et aversions pour certaines saveurs peuvent être expliquées par les prédispositions génétiques des consommateurs. La sensibilité à l'amertume des molécules PROP et PTC a été le plus souvent étudiée (Drewnowski et al. 1997). Il a été montré un lien entre cette sensibilité et l'aversion ou une faible acceptabilité vis-à-vis de certains produits comme le café, certains légumes ou l'alcool. Les personnes qui seraient les plus sensibles au PROP, soit les « Tasters » seraient moins exposés aux produits comme les légumes ou les fruits qui contiennent des composés amers (Dinehart et al. 2006) ou des produits gras (fromage). Cette répulsion pourrait s'expliquer par le fait que les légumes crucifères présentent des composés glucosinolates comme la sinigrine qui apparaîtraient comme amers (Drewnowski and Gomez-Carneros 2000). Ce lien a également été mis en évidence sur d'autres aliments (Keller et al. 2002) ou boissons alcoolisées (Drewnowski et al. 1997; Lanier et al. 2005). Cependant, ce lien entre le rejet et sensibilité au PROP n'est pas systématique pour tous les aliments (Bakke and Vickers 2011).

Par ailleurs d'autres études ont essayé de faire un lien entre les préférences gustatives et les préférences alimentaires chez l'adulte ou l'enfant mais ces relations restent difficiles à mettre en évidence (Nicklaus et al. 2005).

La saveur acide est présente dans beaucoup d'aliments. Elle est liée à la présence d'acides malique ou acétique, rencontrés plus particulièrement dans les fruits tandis que l'acide lactique est présent dans les produits fermentés. Ces différents acides présentent des saveurs diverses n'étant pas seulement marquées par une saveur acide et variant selon le pH (Hartwig and McDaniel 1995). Des études ont été menées sur les différences individuelles pour identifier les facteurs influençant la perception acide et les préférences. A ce jour, les études restent assez floues. Certains auteurs montrent que le facteur génétique pourrait influencer les préférences concernant la consommation de fruits tandis que d'autres n'observent pas ce phénomène (Hasselbalch et al. 2008). Cependant, le rôle de la génétique n'est pas relié à l'ensemble des groupes d'aliments et contribue partiellement à la préférence des aliments acides (Törnwall et al. 2012). La diversité alimentaire et la fréquence de

consommation pourraient également contribuer à ces préférences mais différentes études mènent à des conclusions contradictoires (Liem and De Graaf 2014).

En ce qui concerne le salé, plusieurs facteurs pourraient également intervenir dans les préférences comme le sexe ou l'âge (Verma et al. 2007) mais il pourrait y avoir un lien avec la sensibilité individuelle, leur acceptabilité et un régime alimentaire riche en sodium. Beauchamp et al. (1982) montrent que le niveau préféré de sel dans les aliments est dépendant de la quantité de sodium consommée et que ce niveau peut diminuer en baissant la prise de sodium. Mitchell et al. (2013) ne mettent pas en évidence le lien entre le seuil de détection et de reconnaissance du salé avec les scores d'appréciation et d'achat sur des soupes de légumes.

Toutefois, les préférences pour les saveurs peuvent être modulées par des effets d'exposition et de familiarisation ou d'apprentissage des saveurs contenues dans les aliments (Labbe et al. 2006). Stein et al. (2003) montrent que les appréciations hédoniques pour des boissons amère/sucrée sont améliorées avec des expositions répétées mais en association à un apprentissage sur les conséquences nutritionnelles ou pharmacologiques de ces produits ayant une dominance amère.

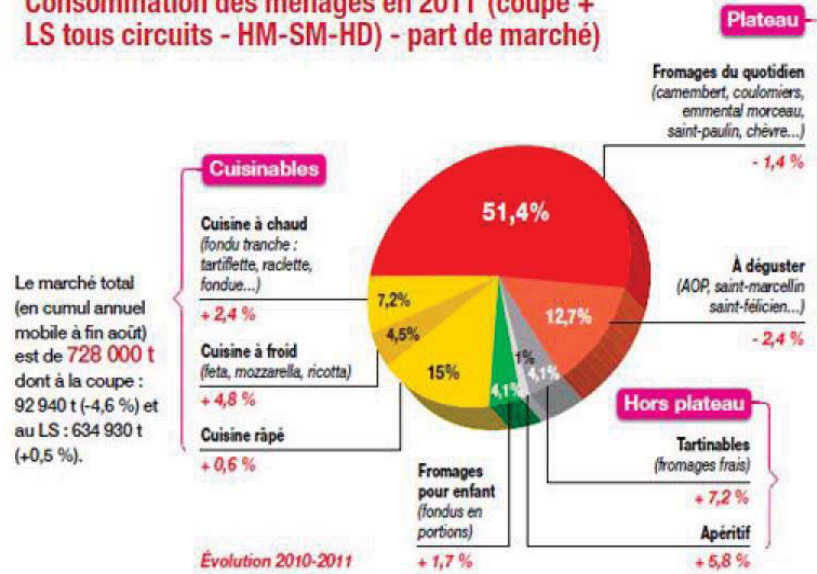
### **4.3. LES PREFERENCES DES CONSOMMATEURS VIS-A-VIS DES FROMAGES A PATE PERSILLEE**

Parmi les produits laitiers, le fromage est le produit le plus consommé en France et il reste un produit « phare » dans la composition d'un repas. Globalement, le fromage est consommé en fin de repas, aussi bien au déjeuner qu'au dîner puisque respectivement 73% et 75% des personnes en consomment au moins 1 fois par semaine à ces repas (CNIEL 2012). Mais depuis 2010, une nouvelle tendance d'utilisation et de consommation s'est développée. Les fromages sont utilisés dans les préparations culinaires aussi bien à froid qu'à chaud. Parmi les utilisateurs de ce type de produits, les jeunes générations sont les plus demandeuses, notamment les 12 -35 ans qui consomment 50% des fromages en tant qu'ingrédient ou dans un plat. Selon une étude menée par le CNIEL sur la consommation des ménages selon leurs usages (figure 8), plus de 26% sont destinés aux préparations culinaires et sont définis comme des fromages « cuisinables » (Lemoine and Renard 2012).



## Vision Cniel des usages

Consommation des ménages en 2011 (coupe + LS tous circuits - HM-SM-HD) - part de marché



Source : Iri/Cniel - CAM à fin août - HM+SM+HD coupe et LS dont chèvre et brebis

- © Sources : Iri/Cniel

Figure 8 : Consommation de fromages des ménages en 2011 selon leurs usages (Lemoine and Renard, 2012 d'après le CNIEL)

Ces « nouveaux » fromages ne sont pas forcément associés à des fromages industriels comme les fromages fondus ou les fromages analogues. Outre des garanties de qualité ou des liens avec le terroir, les fromages avec un label d'origine sont également identifiés comme des produits de bonne qualité gustative. Aujourd'hui, ces fromages AOP tentent d'innover dans ce nouveau segment pour valoriser et apporter un renouveau à la filière fromagère. Selon le type de fromages AOP utilisé, il semble intéressant de voir que les modes d'usages varient. D'après une étude menée sur la perception des fromages AOP du Massif central (données non publiées), les fromages à pâte persillée (Bleu d'Auvergne et Fourme d'Ambert) sont les plus utilisés en salade (44%) mais ils sont également utilisés pour des préparations chaudes, à 29% pour le Bleu d'Auvergne et 26% pour la Fourme d'Ambert. D'autres données issues d'un baromètre effectué sur les fromages d'Auvergne AOP (Kantar WordPanel 2013) montrent que le Bleu d'Auvergne, qui présente une bonne notoriété reflétant l'image de l'Auvergne, est réellement un produit à vocation culinaire (surtout à chaud). Néanmoins il s'agit d'un fromage segmentant en termes de goût. Quant à la Fourme d'Ambert, c'est un fromage qui progresse en termes d'image mais elle reste moins souvent utilisée en cuisine et peut présenter également un rejet gustatif et textural. Ces données peuvent compléter celles issues d'une étude menée par le CNIEL (2012) qui observe que les préférences des fromages varient selon le sexe et l'âge (tableau 10). Les fromages à pâte persillée font partie des catégories les moins appréciées.

Tableau 10 : Préférences selon la catégorie de fromage, l'âge et le sexe (CNIEL, 2012)

Taux de consommateurs sur une semaine	Total d'individus 3 – 75 ans	Sexe		Age	
		Hommes	Femmes	3-14 ans	15-75 ans
Pâtes molles	52%	54%	50%	38%	55%
Pâtes pressées cuites	48%	45%	51%	43%	49%
Pâtes pressées non cuites	28%	30%	25%	24%	28%
Fromages de chèvre	24%	24%	25%	13%	26%
Fromages frais salés	17%	15%	19%	15%	17%
Pâtes persillées	15%	14%	15%	5%	17%
Fromages fondus	15%	15%	25%	26%	13%

Contrairement à certains fromages (Cheddar, Comté), peu d'études consommateurs ont été réalisées sur les fromages à pâte persillée. A titre d'exemple, une étude hédonique réalisée sur 162 consommateurs sur les préférences de 10 fromages montre que le Blue Shropshire (fromage à pâte persillée) est le fromage qui, dans l'ensemble, a été le moins apprécié par rapport aux autres fromages testés. Il a été caractérisé par une saveur de « moisi », une sensation astringente et une texture granuleuse (Lawlor and Delahunty 2000).

Aucune autre donnée n'est disponible concernant les attentes et les goûts des consommateurs sur les fromages à pâte persillée aussi bien à froid qu'à chaud.

## 5. LES METHODES D'EVALUATION SENSORIELLE

Dans ce chapitre, seules les méthodes qui ont été utilisées dans ces travaux pour permettre la description des fromages et la mesure des préférences vont être exposées.

### 5.1. DETERMINATION DES SEUILS DE DETECTION

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer les seuils des individus. Ces méthodes reposent sur la construction de courbes psychophysiques pour chaque composé. Selon la littérature, de nombreux auteurs se sont attardés sur la détermination des seuils liés à l'amertume et plus particulièrement sur deux composés amers comme la phénylthiocarbamide (PTC) et le n-6-propylthiouracil (PROP) (Keast and Roper 2007). La plupart de ces méthodes appartiennent au domaine de la psychophysique :

- **méthode des limites** : cette méthode consiste à soumettre au sujet, plusieurs séries de stimulation (8 à 10) par valeurs croissantes ou par valeurs décroissantes. Pour chaque série, la valeur d'intensité qui correspond à un changement de perception est notée (Schifferstein and Frijters 1991).
- **méthode « up and down » ou méthode de l'escalier** : cette méthode consiste à donner une solution à une concentration donnée. Si le sujet détecte un stimulus, la concentration

inférieure est présentée. Si c'est le cas inverse, la concentration supérieure est présentée. (Wise and Breslin 2013)

Pour déterminer le seuil d'amertume pour la molécule PROP, la méthode du papier filtre a été utilisée. Elle consiste à plonger un papier filtre dans une solution de PROP chauffée (près de son point d'ébullition), puis séché et découpé en morceaux de 2.5 cm<sup>2</sup> (Drewnowski et al. 1997; Kaminski et al. 2000). Ce morceau de papier est ensuite collé sur la langue du sujet qui doit déterminer la présence ou non d'un stimulus.

- **Méthode 3-AFC**

The American Society for Testing and Materials (ASTM) et l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) ont choisi d'utiliser la méthode des limites associée à la méthode 3-AFC à choix forcé (Schiffman et al. 1994; Meilgaard et al. 2006c). Cette méthode consiste à présenter au sujet trois échantillons, deux contiennent de l'eau et le troisième contient un stimulus à une concentration donnée. Le sujet doit identifier l'échantillon qui est unique. Plusieurs concentrations sont présentées dans l'ordre croissant ou décroissant. Le changement de perception est noté entre le moment où le niveau de concentration change (Keast and Roper, 2007).

La norme ISO 13301 (AFNOR 2002) « Lignes directrices générales pour la mesure des seuils de détection d'odeur, de flaveur et de goût par une technique à choix forcé de 1 parmi 3 (3-AFC) » a pour objectif d'obtenir des données sur la détection de stimuli chimiques concernant la flaveur, le goût ou l'odeur par la technique 3-AFC (choix forcé, 1 parmi 3). Plusieurs traitements des données sont exposés dans cette norme afin d'estimer la valeur d'un seuil.

Il existe également la méthode 2-AFC (choix forcé, 1 parmi 2) qui présente le même principe mais avec seulement deux échantillons présentés.

- **Méthode du BET – calcul du seuil**

La méthode du BET (Best Estimate Threshold) est l'une de ces méthodes, elle est rapide mais présente des limites et donne une valeur approximative proche du seuil. Elle est basée sur le modèle de seuil. Pour calculer ce seuil, les concentrations doivent être rangées dans l'ordre croissant ou décroissant. Pour chaque sujet, « 0 » indiquait que la personne n'avait pas trouvé l'échantillon différent, et « + » si elle l'avait identifié. Les BET, pour chacun des sujets, sont calculés à l'aide de la moyenne géométrique de la concentration la plus élevée non détectée et de la concentration juste supérieure. Le seuil moyen du panel est identifié comme étant l'antilogarithme de la moyenne des logarithmes ou la moyenne géométrique des moyennes géométriques des sujets (tableau 11).

Tableau 11 : Calcul du seuil avec la méthode BET (Norme ISO 13301)

Sujets	Facteurs de dilution (augmentation des concentrations →)						BET	
	3 645	1 215	405	135	45	15	Valeur	log <sub>10</sub> de valeur
1	0	+	+	0	+	+	78	1,89
2	+	0	+	+	+	+	701	2,85
3	0	+	0	0	+	+	78	1,89
4	0	0	0	0	+	0	9	0,94
5	+	0	0	+	+	+	234	2,37
6	+	+	+	+	+	+	6 313	3,80
7	0	+	+	0	+	+	78	1,89
8	+	0	0	+	+	+	234	2,37
9	+	0	+	+	+	+	701	2,85
Sommes des log <sub>10</sub>								20,85
Seuil BET moyen = moyenne géométrique								209
Écart-type des log <sub>10</sub> de valeur								0,81
«0» indique que le sujet a choisi le mauvais échantillon de l'ensemble de trois; «+» indique que le sujet a choisi le bon échantillon.								

Les seuils de détection permettent d'obtenir une information sur la sensibilité moyenne des individus. Toutefois ces seuils ne sont pas forcément reliés à l'intensité perçue à des concentrations supraliminaires, notamment pour certains composés amers (Keast and Roper 2007). Déterminer le seuil de détection pour une saveur simple dans une solution aqueuse semble relativement simple mais le phénomène se complique lorsque les saveurs sont en mélange et se trouvent dans des matrices plus complexes. En effet, la perception sensorielle peut être modifiée en fonction de la matrice, des différentes saveurs constituant le mélange mais également en fonction de la concentration qui est associée à chacune de ces saveurs, sans oublier le facteur d'inter-variabilité entre les sujets (Keast and Breslin 2002).

## 5.2. LES METHODES ANALYTIQUES

Les méthodes d'analyse sensorielle ont pour principal objectif d'établir une carte d'identité des produits sur l'ensemble des perceptions sensorielles dégagées par les produits. Plusieurs méthodes descriptives ont été développées et peuvent être classées en 3 catégories :

- Les méthodes quantitatives : Profil quantitatif de flaveur (Stampanoni 1993), profil de texture (Szczesniak 1963), profil sensoriel conventionnel, profil Flash, profil libre choix (Murray et al. 2001)
- Les méthodes non verbales : Tri libre et Napping (Perrin et al. 2008)
- Les méthodes temporelles : la méthode du Temps-Intensité (TI) ou la méthode « Dominance Temporelle des Sensations » (DTS) (Labbe et al. 2009)

Parmi toutes ces méthodes, seules les méthodes du profil conventionnel et la méthode du DTS seront explorées, méthodes qui ont été utilisées au cours de ces travaux.

### **5.2.1. Les méthodes descriptives : le profil conventionnel**

Parmi toutes les méthodes descriptives, le profil sensoriel conventionnel (AFNOR, 2010) reste la méthode de référence. Cette méthode est une méthode dérivée de la méthode Quantitative Descriptive Analysis (QDA®) élaborée par Stone et Sidel (Stone et al. 1974). Elle permet d'obtenir une description détaillée et globale des différentes qualités sensorielles qui caractérisent un produit à l'aide d'une liste d'attributs sensoriels (descripteurs) dont l'intensité de chacun de ces attributs est évaluée sur une échelle d'intensité. Cette description aboutit à un profil sensoriel. Par la suite, au moyen de traitements statistiques, il est possible de comparer les différents profils obtenus et de connaître la nature des différences entre ces produits. Cette méthode reste fiable et toujours utilisée pour décrire de nombreux produits (Beriaïn et al. 2000; Lawlor and Delahunty 2000; Rødbotten et al. 2004). Cependant cette méthode n'est pas considérée comme une méthode rapide car elle nécessite la mise en place de plusieurs étapes avant d'obtenir le profil définitif. Pour aboutir aux profils des produits, plusieurs étapes doivent être réalisées en amont comme décrit dans la norme NF ISO 11035 (AFNOR 1995) : le recrutement d'un jury, la mise en place d'une grille sensorielle composée de plusieurs descripteurs, l'entraînement de ce jury sur cette grille tout en contrôlant leur performance (répétabilité, discrimination et consensus) et enfin, l'évaluation finale des produits.

La sélection des personnes est l'une des phases primordiales pour constituer un panel performant (Lesschaeve and Issanchou 1996). Le panel peut être recruté de deux façons : soit par un panel interne à l'entreprise, constitué du personnel de l'entreprise soit par un panel externe, constitué de personnes recrutées à l'extérieur de l'entreprise. Généralement, ce dernier est conseillé car il permet d'avoir une vision plus objective lors de la caractérisation des produits (pas d'implication de la part du panel) (Meilgaard et al. 2006b). Dans ces deux types de panel, la motivation et la disponibilité restent deux critères essentiels pour participer aux séances de dégustation. D'autres critères sont également à prendre en compte comme les répulsions alimentaires et les problèmes de santé (sélectionner des sujets sains). Les critères comme la consommation de tabac, le sexe et l'âge ne sont pas des critères d'élimination. Bitnes et al. (2007) montrent que l'exposition est la variable qui apparaît comme la première variable prédictive de la performance de détection des saveurs. L'âge n'est pas incompatible avec la performance de détection des saveurs. Toutefois, Mojet et al. (2001) trouvent un effet significatif de l'âge sur la perception des saveurs, tout comme Stevens et al. (1995). La deuxième étape consiste en la génération d'une liste de termes par le panel qui va permettre de décrire l'« espace produit » à étudier. Cette étape consiste à définir et à générer un maximum de termes descriptifs et pertinents permettant ainsi de décrire l'ensemble des sensations perçues dans les différents produits issus de l'espace produit. Ce travail se fait d'abord de manière individuelle puis consensuelle, permettant de recenser tous les termes définis par le panel. Le nombre de descripteurs peut varier selon la nature et la complexité des produits à évaluer. Suite à différents

traitements statistiques, un tri est réalisé sur l'ensemble des descripteurs générés et seuls les descripteurs les plus représentatifs et pertinents pour décrire l'espace produits sont conservés. L'étape concernant le choix des références et la définition est également incontournable. Cette étape permet d'illustrer chaque descripteur à l'aide de références (physique ou non) représentant les bornes extrêmes de l'échelle ou la borne intermédiaire afin que l'ensemble du panel comprenne de manière univoque le sens des descripteurs. Un mode opératoire et de dégustation doit également être établi afin d'homogénéiser la présentation et la dégustation. Le nombre de séances d'entraînement concernant l'utilisation de cette grille sensorielle est plus ou moins variable, elle dépend des performances du panel (Chambers et al. 2004). Trois critères sont généralement mesurés pour valider la performance du panel : la répétabilité, la discrimination et le consensus (accord entre les juges).

La méthode du profil a souvent été utilisée pour décrire les qualités sensorielles des fromages (Drake et al. 2001; Drake 2007; Ryffel et al. 2008; Chambers et al. 2010). Les résultats de ces profils ont généralement été couplés à d'autres données (instrumentales, physico-chimiques) afin de mieux comprendre certains phénomènes ou mécanismes identifiés dans les fromages (Drake and Gerard 1999; Allen Foegeding 2003). Certaines équipes ont travaillé plus spécifiquement sur le développement d'un lexique de saveurs permettant de caractériser les arômes et les saveurs déterminant la typicité des fromages (Drake et al. 2001; Rétiveau et al. 2005). A titre d'exemple, Rétiveau et al. (2005) ont mis en place un lexique basé sur les saveurs (définitions des saveurs associées à des référents illustrant chaque descripteur) d'une large variété de fromages français. Quel que soit le type de fromages, l'analyse de ces différents articles montre que les mêmes termes sensoriels sont utilisés pour décrire les fromages avec des variations de sémantiques qui peuvent être observées. Des différences sont plus remarquées au niveau du mode de présentation, de la température de service des fromages, même si celle-ci varie généralement entre 16°C et 21°C±1°C (Issanchou 2006) et du nombre d'échantillons, qui peut varier entre 5 et 43 fromages. Quelques exemples de protocoles de dégustation mis au point sur les fromages et de descripteurs associés sont cités dans le tableau 12.



Tableau 12 : Exemples de protocoles de dégustation sur les fromages

Auteurs	Température de service	Type de fromages	Forme des échantillons	Descripteurs évalués
(Lesage et al. 1992)	22 et 25°C	Camembert	Portion de 30-40 g	44 descripteurs décrivant l'aspect, l'odeur, le goût (salé, amer, acide et piquant), les arômes et la texture de la pâte, de la croûte et du cœur
(Drake and Gerard 1999)	21°C	Feta, Parmesan, Brie...	Pièces rectangulaires de 5*2,5*2,5 cm	7 descripteurs de texture : fermeté, rugosité, adhésion...
(Lawlor and Delahunty 2000)	21°C	Différents types de fromages : Mahon, Chaumes, gruyère, Blue shropshire...	Cube de 5 g	7 d'aspect, 9 d'odeur (fruité, moisi, crème...), 21 de saveurs (beurre, rance, noisette, savon, sale, acide amer...), 10 de texture (fermeté, lisse, râpeux, huileux...)
(Gaborit et al. 2001)	18°C	Fromages lactiques (Sainte-Maure-type) et des fromages type-camembert	Portion de 30g avec croûte	Intensité globale de l'odeur, odeur de chèvre, arôme global, arôme de chèvre, acidité, amer, arôme alcool, métallique/oxydé, piquant, rance, arôme savon
(Lawlor et al. 2003)	21°C	Fromage à pâte persillée	Cube de 5g	7 d'aspect, 9 d'odeur (fruité, moisi, crème...), 21 de saveurs (beurre, rance, noisette, savon, sale, acide amer...), 10 de texture (fermeté, lisse, râpeux, huileux...) – même que l'étude de 2000
(Young et al. 2004)	10°C	Cheddar	Cube 2,5 cm	Cuit/lait, caillé, diacétyl, Gras/lactone, Fruité, Sulfuré, gras/animal, noisette, salé, sucré, acide, amer, umami
(Réteveau et al. 2005).	21°C	Différents types de fromages	Morceau de 1,5 cm <sup>3</sup>	31 descripteurs qui sont classés en 7 familles d'arômes : saveurs fondamentales, arôme lactique ; arôme animal/gras ; arôme fermenté ; arôme moisi/champignon ; autres arômes et sensation en bouche
(Chambers et al. 2010)	18-20°C	Brie, Coulommiers, Munster, Chèvre, Bleu et St Nectaire	Echantillon de 1,5 cm <sup>3</sup> avec la croûte	26 descripteurs : composés aromatiques (beurre, moisi, fermenté, végétal, noisette, gras sensation) et saveurs (amer, acide, salé)

### 5.2.2. Les méthodes temporelles

Les méthodes temporelles sont des méthodes qui permettent d'évaluer les perceptions sensorielles tout au long de la dégustation, dès la mise en bouche, pendant la mastication et après déglutition. Deux méthodes constituent la référence : la méthode Temps-intensité et la méthode de Dominance Temporelle des Sensations. La méthode Temps-intensité a été la première à être établie, elle consiste à évaluer l'intensité d'un descripteur au cours du temps (Cliff and Heymann 1993). A l'inverse, la

méthode DTS mise au point par Pineau et al. (2009) permet d'évaluer la dominance de plusieurs descripteurs à la fois ainsi que leur intensité. Toutefois, une liste avec un maximum de 10 attributs serait conseillée (Pineau et al. 2012). Cette méthode dynamique permet d'obtenir des informations complémentaires par rapport au profil sensoriel, ce dernier restant une méthode statique où le panel doit évaluer un descripteur à un temps donné en évaluant son intensité globale tout en prenant en compte sa durée et sa persistance. Par ailleurs, cette méthode serait plus adaptée pour identifier et décrire les interactions complexes entre les différents composés des aliments (Dinnella et al. 2012). Toutefois, elle fait abstraction des descripteurs non dominants, qui peuvent être spécifiques et marquants dans la description d'un produit. La complémentarité des deux méthodes semble ainsi être intéressante pour décrire les sensations d'un produit complexe. La littérature témoigne de l'utilisation du DTS sur différents types de produits aussi bien sur des produits solides que liquides (Albert et al. 2012; Paulsen et al. 2013; Dinnella et al. 2013; Varela et al. 2014). Généralement, elle permet de décrire l'évolution des saveurs mais récemment, elle a pu être utilisée pour mieux comprendre la texture des aliments (Lenfant et al. 2009). Cette démarche nécessite un logiciel adapté, qui consiste à évaluer plusieurs descripteurs, dès que le produit est mis en bouche. Le sujet doit faire démarrer le chronomètre en appuyant sur le bouton « Start ». Au fur et à mesure de la dégustation, le sujet sélectionne le ou les descripteurs dominants, qui peuvent être choisis une ou plusieurs fois selon son apparition et son évolution dans le temps. L'évaluation s'arrête après déglutition ou après l'absence de sensation en bouche, en appuyant sur le bouton « STOP ». Le temps de dégustation peut varier d'un produit à un autre (Pineau et al. 2012). Cette méthode nécessite une bonne maîtrise du logiciel et une bonne gestion du temps de dégustation de la part du jury. Au lieu d'obtenir des valeurs, des courbes de dominance sont issues de cette méthode. Elles représentent la dominance de chacun des descripteurs au cours du temps où la durée de dégustation est représentée en abscisse et le taux de dominance en ordonnée. Ce dernier est calculé pour chaque descripteur, en divisant le nombre de citations par le nombre total de juges. Par la suite, ces courbes subissent des transformations et sont lissées (Pineau et al. 2009). Pour une meilleure interprétation des courbes DTS, deux courbes sont tracées :

- La courbe chance : c'est le taux de dominance qu'un attribut peut obtenir par chance,  $P_0$  est égal à  $1/p$ ,  $p$  est le nombre de descripteurs
- La courbe significativité : Elle est calculée par un test binomial unilatéral d'égalité à ce niveau de chance

Au cours de cette analyse, 3 paramètres sont calculés :

- **Durée** = somme des durées de la dominance sur l'ensemble des citations
- **Temps** = temps de la première citation du descripteur
- **Score** = moyenne des intensités pondérée par les durées



Le DTS Score, qui représente la moyenne des intensités pour un descripteur donné, pourra être ainsi utilisé pour comparer les résultats à ceux des profils sensoriels (Labbe et al. 2009).

## 5.3. LES METHODES HEDONIQUES

### 5.3.1. Principe

Les méthodes hédoniques ont pour principal but de mesurer les préférences ou l'acceptabilité des consommateurs vis-à-vis des produits testés. Ainsi, différentes méthodes peuvent être mise en place. Pour mesurer l'acceptabilité, d'après la norme NF V09-500 (AFNOR 2012a), une épreuve de notation peut être utilisée afin « d'estimer le plaisir (ou déplaisir) engendré lors de la dégustation d'un produit en indiquant, sur une échelle, l'intensité du plaisir (ou du déplaisir) qu'ils ressentent quand ils évaluent le produit ». Un test de classement peut être également utilisé au cours duquel le consommateur doit classer les produits par l'ordre de préférence. L'épreuve de notation est utilisée dans notre étude pour répondre à nos objectifs.

### 5.3.2. Mesures de l'appréciation

L'appréciation des consommateurs est souvent mesurée à l'aide d'une échelle. Plusieurs types d'échelles (directes) sont développés. Les deux principales échelles utilisées pour les tests consommateurs sont listées ci-dessous (Lim 2011):

- Echelle hédonique discontinue 9-points : c'est l'échelle la plus connue et utilisée. Elle peut être numérique ou sémantique. Des variantes de l'échelle numérique existe pour laquelle le nombre de points change : échelle en 5 points (qui peut être utilisé par des enfants ou transformé en échelle picturale) ou 11 points. Les échelles les plus fiables, assurant une meilleure discrimination, sont obtenues lorsque les échelles sont équilibrées et présentent un point central.
- Echelle hédonique continue linéaire non-structurée : c'est une échelle linéaire de 10 cm allant de « je n'aime pas du tout » à « j'aime beaucoup ». Elle permet d'éliminer l'erreur d'écartement inégale des catégories qui apparait sur l'échelle structurée. Cette échelle peut varier entre 10 et 15 cm.

### 5.3.3. Questionnaire de dégustation

Dans la norme V09-500, il est conseillé de ne poser qu'une question pour mesurer l'appréciation globale, elle se formule généralement « Comment appréciez-vous ce produit ? ». Cependant, d'autres questions peuvent être introduites pour savoir comment ces attributs sensoriels peuvent être reliés à l'acceptabilité. Ces questions concernent généralement les propriétés sensorielles comme la texture, l'arôme ou l'aspect des produits (Meilgaard et al. 2006a) . Elles peuvent être posées sous différentes formes et leur utilisation dépend des objectifs fixés dans l'étude :

- **Des questions d'appréciation** : le consommateur évalue différents attributs selon ses préférences (je n'aime pas à j'aime beaucoup)
- **Des questions d'intensité** : le consommateur évalue différents descripteurs selon l'intensité de ces descripteurs (pas intense à très intense)
- **Des questions de type JAR « Just About Right »** : cette échelle permet de combiner la notion d'intensité et d'hédonisme, elle mesure le niveau optimum de satisfaction d'attributs spécifiques (Gacula et al. 2007). Elle est bipolaire, structurée de 5, 7 ou 9 points allant de « pas assez » à « beaucoup trop » avec un point central « Juste ce qu'il faut ».
- **Des questions ouvertes** : Pour ne pas orienter le consommateur sur certains descripteurs en posant des questions fermées axées sur des descripteurs spécifiques, les questions ouvertes ont pour but d'obtenir des réponses spontanées en lien direct avec le produit dégusté (Martin and Rogeaux 1994). Ce sont des questions qui permettent de verbaliser les perceptions des consommateurs vis-à-vis des produits dégustés.

Il a été démontré que certaines de ces questions annexes pouvaient engendrer des biais au niveau de l'appréciation hédonique. Les questions sur l'intensité des attributs sensoriels ne semblent pas avoir d'influence sur les notes d'appréciation (Vickers et al. 1993; Popper et al. 2004). En revanche, les questions JAR pourraient modifier les notes d'appréciation plus que les appréciations spécifiques. En conséquence, l'ordre des questions peut influencer les réponses.

En ce qui concerne, les questions ouvertes, peu d'études mettent en exergue leur influence sur l'appréciation. En 1993, Vickers et al. montrent que ce type de question n'a pas d'impact à l'inverse de Wilson et Schooler (1991) qui montrent qu'il peut y avoir un biais sur l'appréciation des produits. Récemment, des études ont montré un nouvel intérêt à ce type de questions. En effet, elles apportent des informations complémentaires sur les perceptions des consommateurs et associent des commentaires spontanés et elles peuvent ainsi apparaître comme une alternative aux méthodes de cartographie des préférences. Dans une étude récente menée par Arès et al. (Ares et al. 2010), sont mises en relation les questions ouvertes, l'appréciation globale des consommateurs et les caractéristiques sensorielles établies par un jury entraîné. A l'aide de ces questions, ils ont pu identifier les attributs pertinents propres aux consommateurs qui pouvaient conduire à l'acceptation ou au rejet des produits en lien avec les propriétés sensorielles également décrites. Toutefois, cette méthode reste délicate pour l'interprétation et le regroupement des mots / expressions cités mais aussi en termes de traitement des données. L'analyse textuelle se fait généralement par un comptage des termes cités où les occurrences les plus importantes sont conservées. L'analyse de ces occurrences est généralement représentée graphiquement au moyen d'une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) qui permet de positionner les produits associés aux termes les plus cités.

Par le biais de ces questions, en lien avec la dégustation, il est donc possible d'extraire et d'expliquer l'appréciation globale des consommateurs vis-à-vis des produits consommés. Généralement, l'explication de l'appréciation des consommateurs en lien avec les attributs sensoriels se fait à l'aide d'une méthode appelée « cartographie des préférences ». Elle permet de comprendre quels sont les « déterminants » dans l'appréciation des consommateurs.

#### **5.3.4. Questionnaire d'attitude et de perception**

Les préférences gustatives ou alimentaires peuvent être modulées par différents facteurs, qu'ils soient d'ordre génétique (Feeney et al. 2014), psychologique mais également dépendant de la familiarisation avec les aliments ou le vécu alimentaire des personnes. C'est pourquoi en complément des tests hédoniques, il n'est pas rare d'administrer un autre questionnaire relatif à des données plus personnelles du consommateur comme des données sociodémographiques mais aussi des questions sur ses habitudes de consommation ou d'achat et/ou sur leurs perceptions (Sánchez et al. 2012). Généralement, ce type de questionnaire est administré en fin de séance ou au cours d'une session spécialement dédiée à ce questionnaire permettant ainsi de minimiser les biais sur les résultats du test hédonique.

Toujours dans l'objectif d'expliquer les préférences des consommateurs, certaines études ont mis en évidence le lien entre les préférences gustatives et la prise d'aliments associées au style de vie, à l'état de santé et au poids des personnes (Brug et al. 2008; Lanfer et al. 2013). Concernant les préférences gustatives générales, les saveurs salée (Beauchamp et al, 1990), amère et sucrée (Monneuse et al. 1991; Méjean et al. 2011) ont été le plus souvent étudiées. L'attrance vis-à-vis des produits gras a également fait l'objet de nombreuses études essayant de relier cette préférence avec le régime alimentaire suivi (Mela and Sacchetti 1991) mais aussi avec le poids (Cox et al. 2015). Ledikwe et al. (2007) ont établi un questionnaire pour mesurer les préférences envers les produits gras : le « Fat Preference questionnaire » basé sur la notation de préférence et la fréquence de consommation de 19 jeux d'aliments.

Parfois, ces questionnaires ne sont pas associés aux tests de dégustation et sont basés uniquement sur les perceptions déclaratives des consommateurs. Récemment, Deglaire et al. (2012) ont mis au point un questionnaire en ligne pour mesurer les attirances des consommateurs envers les aliments salés, sucrés et les combinaisons salées et gras, sucrés et gras. Ce questionnaire, testé sur plus de 47000 internautes, s'est montré fiable et concluant pour mesurer l'attrance des produits ayant des dominances gustatives prononcées.

En résumé, différents types de questionnaires peuvent être croisés ou utilisés pour tenter d'expliquer les préférences des consommateurs. Les données relatives aux propriétés intrinsèques définies par les profils sensoriels peuvent être utilisées pour connaître les déterminants les plus importants dans l'appréciation des consommateurs. Les questions annexes comme les intensités spécifiques peuvent

également être croisées et permettre d'identifier un lien avec les préférences. Des questions ouvertes peuvent aussi être ajoutées de façon complémentaire afin d'obtenir des termes spontanés, descriptifs et proches des perceptions des consommateurs. Concernant les facteurs externes aux produits, il est possible d'utiliser des caractéristiques comportementales, d'attitude, de perception et sociodémographiques pour tenter d'expliquer les préférences des consommateurs. Enfin, une autre approche peut également se greffer à ces tests hédoniques : l'attrance vis-à-vis de certains produits ayant une dominance gustative spécifique.

**Cette revue de la littérature montre que les propriétés fonctionnelles des fromages à chaud sont bien étudiées par les méthodes instrumentales et permettent d'aboutir à des informations précises concernant leurs aptitudes technologiques à chaud. Ces méthodes renseignent sur des propriétés en lien avec l'apparence ou la texture. Toutefois, elles n'apportent pas d'éléments sur les propriétés gustatives des fromages. C'est pourquoi, il semblerait que les méthodes d'évaluation sensorielle présentent un bon potentiel pour mettre en évidence l'ensemble des qualités aussi bien texturales que gustatives des fromages à chaud et qu'elles peuvent également identifier les préférences des consommateurs vis-à-vis de ces produits. Comme le souligne la littérature, de nombreuses études sensorielles ont étudié les préférences des consommateurs mais uniquement sur différents fromages à froid.**



## **CHAPITRE 2 : QUESTIONS DE RECHERCHE ET DEMARCHE EXPERIMENTALE**

---



L'utilisation des fromages en cuisine pour les préparations à froid ou à chaud devient un des leviers majeurs pour la consommation de fromages. D'après une étude réalisée par le CNIEL en 2011, le fromage est consommé dans un plat chaud par 92% des personnes interrogées et dans un plat froid par 55%. L'analyse bibliographique caractérise précisément les propriétés fonctionnelles à chaud de différents fromages et met en relation les analyses biochimiques avec les mesures instrumentales des différents paramètres fonctionnels pour mieux expliquer ces phénomènes. Cependant, à notre connaissance, aucune étude publiée ne s'est intéressée aux propriétés sensorielles et fonctionnelles des fromages à pâte persillée à chaud et aucune n'a analysé les éventuelles relations entre la composition biochimique de ces fromages et les attributs sensoriels. Les fromages à pâte persillée présentent une grande diversité sensorielle qui selon le type de souche utilisée (*Penicillium roqueforti*), le type de lait et le temps d'affinage, peut modifier les qualités sensorielles et plus particulièrement les propriétés gustatives et aromatiques. Le goût des fromages est un élément primordial pour l'acceptabilité des consommateurs et notamment pour les fromages AOP, qui sont également reconnus pour leur lien avec le terroir (provenance géographique spécifique) et la tradition (Amblard et al. 2012). Cependant, les consommateurs n'apprécient pas tous les mêmes caractéristiques sensorielles, certains vont apprécier la texture et d'autres apprécieront le goût plus typé des fromages. Concernant les saveurs, selon la catégorie des fromages et selon le degré d'affinage, elles peuvent être plus ou moins développées notamment dans le fromage de chèvre ou les « Bleus ». Ces derniers sont reconnus pour leur fort potentiel gustatif dû à une protéolyse et une lipolyse importantes dans ce type de fromage (Lawlor et al. 2010). D'après un baromètre réalisé sur les fromages d'Auvergne AOP (Kantar WordPanel 2013), le point faible du Bleu d'Auvergne est son goût fort. Le développement des saveurs des fromages est complexe et apparaît suite à une série de changements biochimiques et enzymatiques au cours de l'affinage (Adda 1982). De nombreuses études ont identifié les molécules contribuant à la formation des saveurs (Urbach 1997; Sablé and Cottenceau 1999). Outre les arômes, les saveurs jouent également un rôle dans les saveurs. Dans le fromage, les saveurs salée, acide et amère sont dominantes. Ces saveurs sont présentes dans la fraction hydrosoluble non volatile des fromages. L'étude des constituants de la fraction soluble a permis de révéler la contribution relative aux saveurs et aux sensations chémoesthésiques qui varient selon le type de fromages. En partant du fait que la température modifie la structure des fromages et permet la libération de molécules solubles, les perceptions gustatives des fromages entiers peuvent être ainsi modifiées. Cela peut de manière implicite provoquer une modification des perceptions gustatives des fractions solubles issues des fromages à chaud. Ces modifications sensorielles peuvent être acceptées ou refusées par les consommateurs.



Ainsi, la problématique principale de ces travaux de thèse s'est axée sur l'effet du chauffage sur les perceptions sensorielles et plus particulièrement sur les perceptions gustatives. L'influence de ces modifications sensorielles induites par le chauffage de manière implicite ou non sur les préférences des consommateurs sera également traitée.

Etant donné que cette thèse est basée sur une approche exploratoire et que peu d'éléments sont connus à ce sujet, plusieurs questions se sont posées auxquelles nous tenterons de répondre au travers de différentes expérimentations.

- **Comment se caractérisent les différentes catégories de fromages à pâte persillée à chaud et à froid ?**
- **Quel est l'impact du chauffage sur les perceptions sensorielles et les perceptions gustatives ?**
- **Quel est l'impact du chauffage sur la libération des molécules sapides dans les fractions solubles et quelles en sont les conséquences sensorielles?**
- **Existe-t-il une relation entre la perception gustative des fractions et la composition de ces fractions ?**
- **Les modifications sensorielles induites par le chauffage influencent-elles les préférences des consommateurs ?**
- **Quels sont les attributs sensoriels qui déterminent les préférences des consommateurs ? Texture, saveur, arôme ?**
- **Les préférences gustatives peuvent-elles être liées à l'attirance de certains produits ? Plus précisément, l'attirance naturelle pour certains produits (produits salés, amers) peut-elle justifier les préférences et expliquer celles qui sont spécifiques aux fromages ?**

## **DEROULEMENT DES EXPERIMENTATIONS : 3 ETAPES SUCCESSIVES**

---

Notre démarche, scindée en 3 étapes, va s'appuyer sur l'utilisation de méthodes sensorielles et physico-chimiques pour obtenir des informations quantitatives au niveau sensoriel, hédonique et biochimique. La combinaison de ces 3 jeux de données tentera d'expliquer les conséquences induites par le chauffage sur les perceptions sensorielles et les préférences vis-à-vis des fromages à chaud (figure 9).

Avant de débiter toutes les séries d'expérimentation, une étape préliminaire a été nécessaire pour fixer les choix méthodologiques. Dans un premier temps, un panel de 10 personnes a été sélectionné et entraîné à la reconnaissance des saveurs sur différents supports. Leurs seuils de détection concernant les saveurs amère et salée ont été déterminés afin d'avoir une estimation moyenne de la sensibilité du panel. Par la suite, les choix concernant les températures de chauffage et les conditions de dégustation ont été mis au point en réalisant des essais sur des fromages à pâte persillée.

Pour caractériser la fraction soluble, des essais ont été réalisés afin de mettre au point son extraction à différentes températures. En parallèle, les méthodes d'analyses physico-chimiques ont été adaptées. Ce n'est qu'une fois toutes ces considérations méthodologiques ont été établies que la première étape a pu débiter.

### **1.ETAPE 1 : TYPOLOGIE DE LA DIVERSITE SENSORIELLE ET CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DE 4 FROMAGES A PATE PERSILLEE AOP DU MASSIF CENTRAL A FROID ET A CHAUD**

---

L'objectif de cette étape a été de mettre en évidence les caractéristiques sensorielles de 4 catégories de fromages à pâte persillée avec et sans chauffage. Pour cela, une grille sensorielle (liste de descripteurs) adaptée aux fromages dégustés à froid et une autre spécifique aux fromages dégustés à chaud ont été mises en place avec un panel de dégustation qualifié. Au total, 16 fromages issus du Massif central au lait cru ou pasteurisé et à différents stades d'affinage ont été sélectionnés pour exprimer la diversité sensorielle de cette famille de fromages. En parallèle, des mesures physico-chimiques ont été effectuées (analyses des macro-éléments et des minéraux). Cela a permis, après les avoir reliées avec les données sensorielles, de comprendre et d'expliquer le comportement à chaud des fromages à pâte persillée. Suite à ces résultats, le « fromage modèle » a été sélectionné. Ce même « fromage modèle » a été utilisé lors des étapes 2 et 3.

## **2.ÉTAPE 2 : IMPACT DU CHAUFFAGE SUR LES PERCEPTIONS SENSORIELLES ET GUSTATIVES DES FROMAGES ENTIERS ET DES FRACTIONS HYDROSOLUBLES : EVALUATION SENSORIELLE ET CHIMIQUE DE CES FRACTIONS**

D'après les résultats sur le screening des catégories de fromages à pâte persillée, une typologie des comportements à chaud existe entre ces 4 familles. De ce fait, pour ne pas tenir compte de l'effet « catégorie », nous avons sélectionné un fromage modèle parmi les 4 catégories testées : il s'agit de la Fourme d'Ambert. Deux types de fourmes (1 variante de formulation) à 3 stades de commercialisation évaluées selon 3 conditions de température (20°C, 80°C et 200°C) ont été analysés, soit un total de 18 profils.

Dans cette deuxième étape, l'objectif est d'identifier les conséquences du chauffage sur les perceptions sensorielles des fromages entiers en étudiant plus spécifiquement les propriétés gustatives de la fraction soluble ainsi que ses constituants qui contribuent à l'expression des saveurs. Deux expérimentations ont été réalisées dans cette étape.

- 1- La première a eu pour objectif d'identifier l'impact du chauffage sur les perceptions sensorielles des fromages entiers en réalisant un profil sensoriel.
- 2- La deuxième a consisté à étudier l'impact du chauffage sur la libération de molécules sapides dans les fractions hydrosolubles et d'en mesurer les conséquences sensorielles sur ces fractions. Ces deux points ont été traités par le biais de méthodes sensorielles et biochimiques.

Un profil conventionnel basé sur l'ensemble des modalités sensorielles (aspect, texture et flaveur) a d'abord été réalisé sur les fromages entiers. Par la suite, l'analyse des perceptions gustatives s'est portée exclusivement sur les saveurs dominantes des fromages ainsi que sur la sensation piquante. Les profils ainsi que les analyses physico-chimiques ont été réalisés sur les fromages entiers et sur les fractions solubles issues de ces mêmes fromages. En parallèle, la méthode DTS a été appliquée sur les fromages entiers pour déterminer la dynamique des saveurs à froid et à chaud. D'après la littérature, certains minéraux peuvent être responsables des saveurs. A ce titre, le calcium, le potassium, le sodium, le phosphore et le magnésium ont été quantifiés. Les autres paramètres biochimiques comme le pH, la matière azotée, les matières sèches et la matière grasse ont également été mesurés.

Les modifications sensorielles induites par le chauffage ont été reliées aux données physico-chimiques reflétant la composition en macromolécules afin d'observer si les perceptions sont influencées directement par les teneurs de ces constituants.

### **3.ÉTAPE 3 : IMPACT DU CHAUFFAGE SUR LES PREFERENCES DES CONSOMMATEURS VIS-A-VIS DES FROMAGES A FROID ET A CHAUD**

---

Cette dernière étape est basée sur une approche hédonique. Certains consommateurs apprécient des fromages typés ayant un goût amer et/ou salé intense et d'autres préfèrent des fromages plus « doux ». Le chauffage modifie sans surprise la texture mais peut également exacerber certaines saveurs. Nous avons alors émis l'hypothèse que les modifications sensorielles et plus particulièrement les perceptions gustatives pouvaient influencer sur les préférences des consommateurs. L'objectif a donc été de démontrer en quoi les modifications sensorielles pouvaient influencer les préférences des consommateurs et quels étaient les marqueurs sensoriels les plus déterminants pour les préférences des fromages à froid et à chaud. Un test hédonique a été réalisé sur 153 personnes pour mesurer les appréciations des consommateurs vis-à-vis des fromages à froid et à chaud. En parallèle, un profil sensoriel a été mené sur les mêmes fromages et en respectant les mêmes conditions dans l'objectif d'identifier les déterminants sensoriels qui influencent l'appréciation globale. Pour compléter ces mesures, une description des attentes des consommateurs a été réalisée au travers d'un questionnaire déclaratif basé sur leurs usages et leurs attitudes culinaires par rapport aux fromages à chaud. Des questions concernant les préférences vis-à-vis de certains aliments ont également été posées dans l'hypothèse que ces attirances alimentaires pourraient avoir un lien avec les perceptions gustatives identifiées dans les tests de dégustation. Comme pour les autres expérimentations, la Fourme d'Ambert a été testée à froid et après chauffage, aux différents stades de commercialisation.

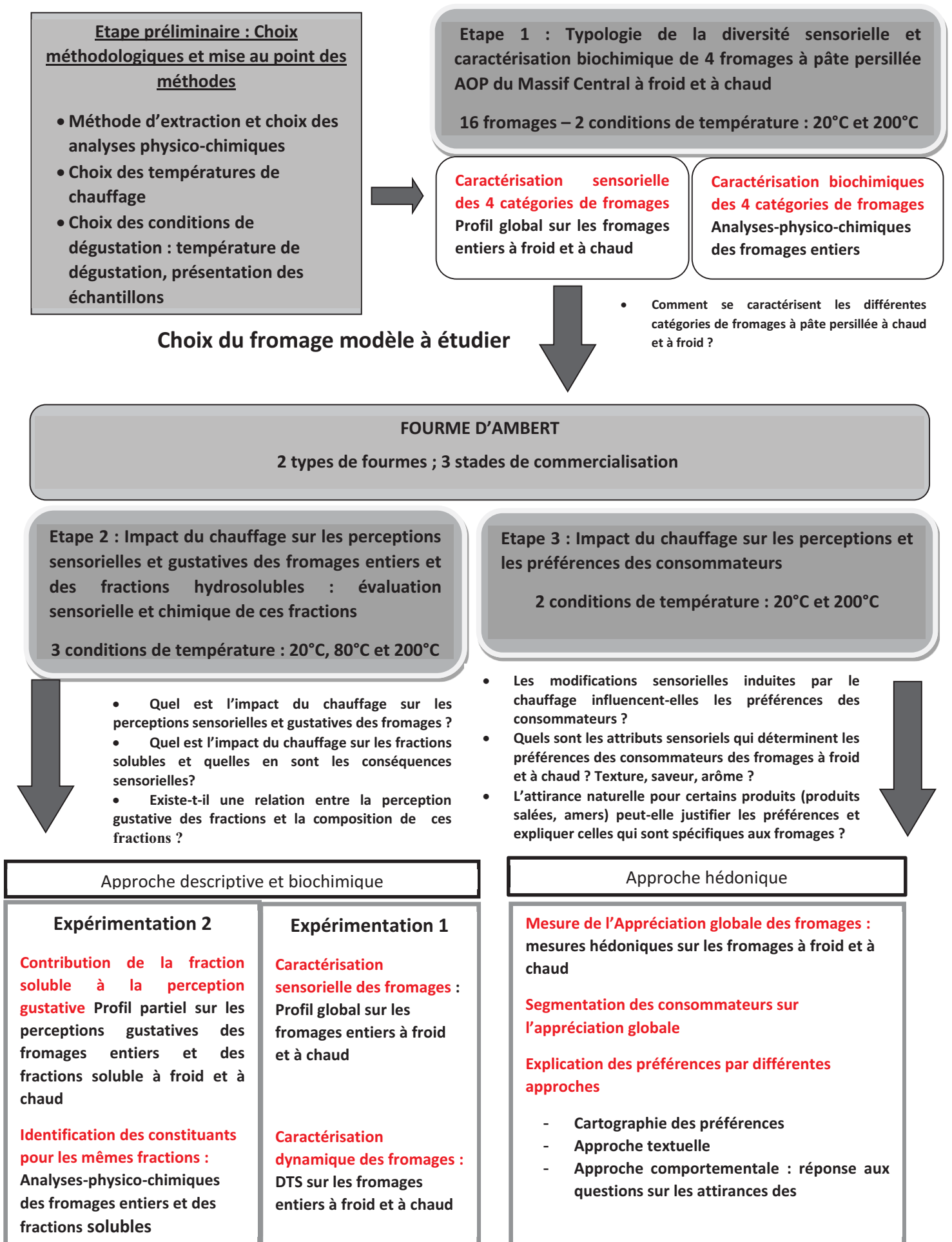


Figure 9 : Démarche expérimentale

## **CHAPITRE 3 : CONSIDERATIONS METHODOLOGIQUES**

---



Comme vu dans le chapitre 1 – « Revue bibliographique », la perception sensorielle d'un aliment est un phénomène dynamique pour lequel plusieurs facteurs vont interagir et ainsi moduler les réponses sensorielles. On peut citer les facteurs qui sont liés aux produits comme la composition biochimique, la structure de la matrice, ceux qui sont liés à l'individu (Lenfant et al. 2009) ainsi que ceux qui sont en lien à l'environnement externe du produit (chauffage, refroidissement). Cependant, d'autres facteurs peuvent changer les perceptions et notamment les facteurs liés au protocole de dégustation. Il a été démontré que la taille de l'échantillon, le contenant et la température de dégustation pouvaient avoir un impact sur la dégustation. Considérant l'ensemble de ces observations, les conditions de préparation et de dégustation des échantillons sont des éléments à définir pour la mise en place des expérimentations. Par ailleurs, aucun protocole en lien avec la dégustation des fromages à chaud ne semble, à notre connaissance, avoir été développé. Généralement, ce sont les propriétés fonctionnelles des fromages à chaud qui ont été analysées en utilisant des méthodes instrumentales ou empiriques. Ainsi, l'objectif de cette partie est de détailler les choix méthodologiques concernant la sélection du panel et les conditions de préparation et de dégustation des échantillons.

## 1.LES PRODUITS

### 1.1. CHOIX DES PARAMETRES TECHNOLOGIQUES DES FROMAGES

La Fourme d'Ambert est le fromage qui a été sélectionné comme « fromage modèle » pour les étapes 2 et 3. Nous avons donc illustré nos choix méthodologiques plus précisément sur ce fromage.

Le procédé technologique des fromages a un impact non négligeable sur les qualités sensorielles (Demarigny et al. 1997; Nair 2000; Feeney et al. 2001). En tenant compte des étapes de fabrication de la Fourme d'Ambert, plusieurs paramètres technologiques ont été fixés.

- **Traitement thermique du lait** : la microflore naturelle du lait cru apporte une diversité sensorielle aux fromages (Callon, Berdagué, Dufour, & Montel, 2005). Les fromages au lait cru s'affinent plus rapidement et acquièrent une richesse et des saveurs plus intenses que ceux au lait pasteurisé ou microfiltré (Demarigny et al. 1997; Montel et al. 2014).

Par conséquent, dans notre étude, les fromages au lait de vache pasteurisé ont été sélectionnés pour limiter les variations apportées par le lait cru et donc obtenir une meilleure standardisation des fromages.

- **Type de souche *Penicillium roqueforti*** : Les moisissures *Penicillium roqueforti* sont ajoutées au cours de l'emprésurage. Les actions protéolytiques et lipolytiques des protéinases et lipases produites par le *Penicillium roqueforti* (qui diffèrent selon la souche



utilisée) agissent sur le développement des saveurs des fromages à pâte persillée. (Farahat et al. 1990; Larsen et al. 1998)

**Deux souches de *Penicillium roqueforti* ont été testées. Tout au long de ces travaux, les souches ont été identifiées de la façon suivante :**

- SA : fromage A - activité protéolytique forte
- SB : fromage B - activité protéolytique modérée
- **Stades d'affinage :** le temps d'affinage de la Fourme d'Ambert est de 28 jours à partir de la date d'emprésurage. Ensuite, les fromages suivent une maturation à froid, à 4°C. Après 28 jours, les fromages peuvent être commercialisés. Selon le circuit, les stades de commercialisation changent et de ce fait les qualités sensorielles évoluent. Ainsi, le stade de commercialisation correspond au nombre de jours qui sépare le premier jour de fabrication des fromages et le jour de leurs ventes.

Les fromages ont été fabriqués par la même entreprise, localisée dans le Puy de Dôme (Auvergne) et selon le même procédé technologique.

Dans notre approche exploratoire, 3 stades de commercialisation ont été sélectionnés afin de mieux expliquer les phénomènes qui seront observés et ainsi émettre des préconisations d'utilisation pour les professionnels de la filière mais aussi pour les consommateurs (tableau 13).

Tableau 13 : Choix des stades de commercialisation

Temps de commercialisation S1 - 35 jours	Temps de commercialisation S2 - 56 jours	Temps de commercialisation S3 - 77 jours
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps de commercialisation qui correspond à la vente pour la découpe industrielle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps de commercialisation qui correspond aux fromages vendus en GMS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps de commercialisation qui correspond aux circuits de distribution des crémeries-fromageries</li> <li>• Consommateurs "amateurs"</li> </ul>

#### • Echantillonnage des fromages

Le persillage ou « Bleu » fait la spécificité des fromages à pâte persillée. Ce persillage est dû au développement de la souche *Penicillium roqueforti*, qui se développe au contact de l'air, une fois le piquage effectué. Toutefois, le développement de ces moisissures n'est pas forcément réparti de façon homogène dans tous les fromages issus du même lot de fabrication, ceci est dû au positionnement des fromages dans la cave ou à la vitesse de développement du *Penicillium roqueforti*. Cette répartition

hétérogène peut avoir un impact sur les qualités sensorielles. C'est pourquoi, lors de l'échantillonnage, plusieurs fromages issus du même lot ont été prélevés. La variabilité inter-fromage et intra-fromage a été prise en compte pour l'échantillonnage des profils sensoriels.

## **1.2. METHODE D'EXTRACTION DES FRACTIONS SOLUBLES ET PROTEIQUES**

### **1.2.1. Principe**

Plusieurs protocoles d'extraction sont référencés dans la littérature pour extraire la phase aqueuse des fromages. Des extractions sans utilisation d'eau ont été mises au point, comme la méthode de Barthel et al. (1928) qui utilise un mélange de fromage râpé et de sable soumis à une forte pression mécanique ou la méthode de Salvat-Brunaud et al. (1995) qui extrait le jus d'emmental à l'aide d'une presse hydraulique (Boutrou et al. 1999). Mais généralement, l'extraction de cette fraction hydrosoluble se fait en milieu aqueux (Aston and Creamer 1986). Cette technique consiste simplement à mélanger l'aliment avec de l'eau et de centrifuger ce mélange afin de pouvoir séparer les composés non solubles des solubles. Trois phases sont alors obtenues : la phase lipidique, la phase protéique et la phase aqueuse. Cette phase hydrosoluble est composée des principaux composés solubles : acides organiques, minéraux, acides aminés.... Cette technique est la plus adaptée pour déguster, par la suite, les échantillons obtenus. L'eau joue un rôle de solvant et dilue la composition les constituants hydrosolubles. Pour pouvoir comparer cet extrait soluble au fromage entier, il est conseillé de prendre en compte cette dilution (Engel et al. 2002). C'est pourquoi la phase aqueuse est généralement lyophilisée puis reconcentrée par ajout d'eau déminéralisée selon le poids initial de fromage mélangé au départ pour obtenir une concentration proche de celle de l'aliment initial. Toutefois, si cette méthode semble être la plus couramment utilisée pour étudier la phase aqueuse, elle reste critiquable et assez sélective. En effet, avec l'étape de lyophilisation, un risque de perte de composés est à envisager contrairement au pressage hydraulique. Par ailleurs, pour déterminer les composés sapides actifs et identifier leurs contributions relatives au goût, d'autres méthodes sont utilisées. Elles consistent à séparer les composés actifs en fractionnant les sous-fractions hydrosolubles par des méthodes séparatives comme la perméation sur gel (Guichard 1995; Salles 2000) ou l'ultracentrifugation (Sommerer et al. 1998; Engel et al. 2001a). La méthode des tests d'omission est également utilisée pour identifier les composés actifs sapides. Ces tests sont basés sur la construction d'un mélange modèle reproduisant les éléments constituant la fraction hydrosoluble. Par la suite, un composé ou plusieurs composés sont supprimés (intentionnellement) de ce mélange modèle afin de comparer le profil gustatif entre le mélange modèle et le mélange incomplet (Engel et al. 2002; Andersen et al. 2010). Dans cette démarche exploratoire, nous avons cherché à extraire, dans un premier temps, la phase aqueuse des différents fromages chauffés à

différentes températures. L'objectif de cette étude est d'obtenir la phase hydrosoluble issue des fromages à froid et à chaud, d'analyser certains composés biochimiques issus de ces deux conditions et d'étudier si il y a une répercussion significative de la température sur les perceptions gustatives. Par conséquent, toutes les étapes de purification et de filtration ou de séparation n'ont été envisagées qu'une fois ces premières réponses sensorielles obtenues.

### **1.2.2. Méthode d'extraction choisie**

Cette extraction est basée sur une technique d'extraction dérivée et adaptée de celle de Salles (Salles et al. 2005). Des portions de fromage (m/m : 1/2) ont été prélevées, broyées et dispersées dans de l'eau déminéralisée à 40°C et ensuite homogénéisées pendant 4 minutes au moyen d'un Ultra-Turax T25 Basic (IKA, Staufen, Allemagne). Le broyat a été centrifugé à 18000g pendant trente minutes à 4°C (Beckman, Aventis JE, Villepinte, France). Les trois phases ont été séparées : la phase lipidique (phase surnageante), la fraction soluble et la fraction protéique (culot). La fraction lipidique a été écartée. La fraction protéique a été stockée à une température de 4°C±1°C jusqu'à la dégustation. La fraction aqueuse a été filtrée avec du papier filtre Whatman N°113. Après filtration, les fractions ont été stockées à -80°C et ensuite lyophilisées. Avant les séances de dégustation, les lyophilisats ont été remis en solution avec de l'eau déminéralisée en se basant sur le poids initial de fromage prélevé. La figure 10 schématise l'extraction de la phase soluble des fromages aux différentes conditions de température.

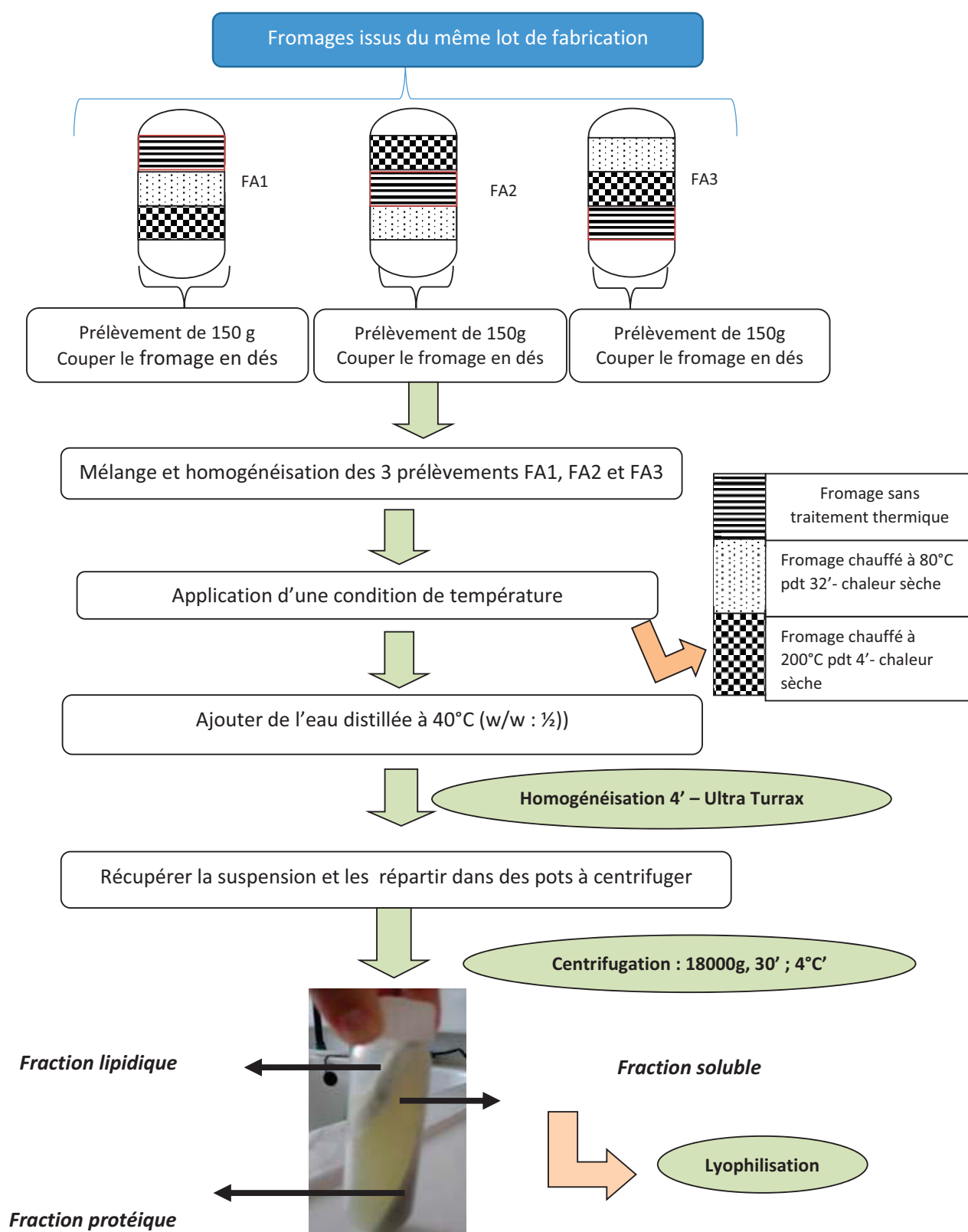


Figure 10 : Schéma de préparation et d'extraction des phases protéiques et solubles (FA= Fourme d'Ambert)

## **2.ELEMENTS BIOCHIMIQUES A ANALYSER**

D'après la littérature, plusieurs composés contenus dans la fraction soluble sont responsables des saveurs. Les fractions de différents fromages ont été analysées comme le Camembert, le Comté (Salles et al. 1995), le Cheddar (Aston and Creamer 1986) ou différents fromages espagnols (Taborda et al. 2003). L'analyse de ces fractions montre que certains acides organiques comme l'acide lactique, les minéraux, les peptides ou acide aminés contribuent à l'expression sapide des fromages. A titre d'exemple, les saveurs des fromages de chèvre proviennent principalement des sels minéraux et de l'acide lactique. Dans le Cheddar, Andersen et al. (2010) montrent que l'acide glutamique et les sels contribuent à la saveur umami tandis que la combinaison d'acides organiques et des sels minéraux contribue à la perception salée et acide.

Pour des raisons techniques et dans le but d'une approche globale, les macro et microéléments des fromages entiers et des fractions solubles ont été analysés. Les mesures suivantes ont été réalisées : pH, matières sèches, azote totale, azote soluble, matières grasses, minéraux : calcium, sodium, chlorure, magnésium, potassium et phosphate.

Dès leur réception, les fromages ont été surgelés dans une cellule de surgélation pendant 1h30 à une température de -40°C. Pour éviter toute dégradation du produit, les fromages surgelés ont été emballés dans du papier aluminium puis conditionnés sous vide. Avant les analyses, les fromages ont été broyés congelés avec un mixeur ménager (Moulinex, Ecully, France) permettant ainsi d'obtenir une bonne homogénéisation de la prise d'essai (mélange pâte / persillage). Chaque analyse a été répétée 3 fois sur 3 fromages issus du même lot de fabrication.

### **2.1. PH**

10 g d'échantillon ont été mélangés à 50 mL d'eau déminéralisée. Les mesures de pH ont été mesurées à une température de 20°C avec un pH-mètre CG 840 (Schott, Mainz, Allemagne) et une électrode pH gel Sentix 41 (WTW, Weilheim, Allemagne).

### **2.2. MATIERE SECHE**

La teneur en matières sèches a été déterminée selon la norme de NF EN ISO 5534. Les prises d'essai ont été placées dans une étuve à 102±2°C pendant 24 heures jusqu'à dessiccation totale de l'échantillon.

### **2.3. MATIERES GRASSES**

La teneur en matières grasses a été déterminée par une méthode acido-butyrométrique selon la norme NF V04-287. Les prises d'essai ont été mélangées à de l'acide sulfurique à 62% et maintenues au bain-marie à  $65^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . 1 mL d'alcool isoamylique a été ajouté dans les butyromètres puis centrifugés avec une centrifugeuse à butyromètre pendant 10 minutes (FUNKE-GERBER, Berlin, Allemagne). La mesure de la matière grasse s'est faite par une lecture directe sur le butyromètre.

### **2.4. MATIERES AZOTEES**

Le dosage de l'azote total a été déterminé selon la norme ISO 8968-1. Une première étape de minéralisation a été réalisée sur les échantillons à l'aide d'un minéralisateur K-438 (Buchi, Rungis, France) couplé à un Scrubber B-414 (Buchi, Rungis, France) pendant 270 minutes ( $195^{\circ}\text{C}$  pendant 30 minutes puis  $410^{\circ}\text{C}$  pendant 140 minutes). Puis, le minéralisât a été distillé avec un mélange eau + soude à 32% et titré avec de l'acide sulfurique à 0,1N à l'aide d'une unité de distillation K-370 (Buchi, Rungis, France).

La teneur en azote soluble a été déterminée d'après la même norme ISO 8968-1. 6 g de fromage entier ont été mélangés à 100 mL d'eau déminéralisée puis mis au bain-marie à  $40^{\circ}\text{C}$  pendant 60 minutes (fonte des matières grasses). Par la suite, une étape de centrifugation a été réalisée sur les prises d'essai à 12000 g pendant 30 minutes à  $4^{\circ}\text{C}$ . La phase soluble a été récupérée puis filtrée sur un filtre Whatman N° 113. Le filtrat a été minéralisé selon le même protocole que le dosage de l'azote total.

### **2.5. DOSAGE DES CHLORURES**

La teneur en chlorures a été déterminée par potentiométrie à l'aide du titrateur Titroline Easy (Schott, Mainz, Allemagne) composé d'une électrode en argent. Ce dosage se réfère à la norme NF ISO 5943. Les prises d'essai des échantillons ont été mélangées avec 70ml d'eau distillée à  $55^{\circ}\text{C}$  puis stomachés pendant 4 minutes. 3 mL d'acide nitrique à 4 mol/L ont été ajoutée. La solution a été titrée avec une solution de nitrate d'argent à 0,1 mol/L.

## **2.6. DOSAGE DES MINERAUX**

La teneur en calcium, en sodium et en magnésium ont été mesurée par spectroscopie d'absorption atomique de flamme à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique de flamme AA 240 FS (Varian, Les Ulis, France) d'après la norme NF ISO 8070.

Les cendres des prises d'essai des échantillons ont été obtenues par minéralisation par voie sèche dans un four à moufle (NAGAT, Montoir - de - Bretagne, France) pendant 6 heures à 550°C. Les résidus des cendres ont ensuite été dissous avec 1 mL d'acide nitrique à 25% et complétés avec de l'eau déminéralisée dans une fiole de 250 mL. Les solutions ont ensuite été mesurées par spectrométrie d'absorption à des longueurs différentes selon le minéral à doser ( $\lambda_{Ca} = 422,7 \text{ nm}$  ;  $\lambda_{Mg} = 285,2$  ;  $\lambda_{Na} = 589,6 \text{ nm}$  et  $\lambda_K = 766,5 \text{ nm}$ )

## **2.7. DOSAGE DU PHOSPHORE**

Le dosage du phosphore a été déterminé par spectrométrie UV-Visible. Les cendres des prises d'essai des échantillons ont été obtenues par minéralisation par voie sèche dans un four à moufle pendant 6 heures à 550°C. Les résidus des cendres ont ensuite été dissous avec 1 mL d'acide nitrique à 25% compléter avec de l'eau dans une fiole de 250 mL. 2mL de cette solution ont été mélangé avec 2 mL de réactif nitrovanadomolybdite. Les solutions ont été laissées au repos pendant 30 minutes puis la densité optique de chaque solution a été mesurée à l'aide d'un spectromètre UV-Visible Anthelie Advanced (Secoman, Alès, France) à une longueur de 436 nm.

# **3.SELECTION ET ENTRAÎNEMENT DU PANEL**

---

## **3.1. DETERMINATION DES SEUILS DE DETECTION DU PANEL**

Chaque sujet est différent et cela entraine une variabilité inter-individuelle dans les perceptions (Stevens 1996). De ce fait, le choix du panel est un critère important et décisif pour obtenir des résultats fiables en évaluation sensorielle. La sélection des panélistes est basée dans un premier temps sur leur motivation, leur disponibilité puis s'est affinée dans un second temps en fonction de leur aptitude à décrire les sensations et à identifier certains stimuli.

Parmi les 11 sujets qualifiés, recrutés dans le panel externe de VetAgro Sup, 10 ont été sélectionnés. Ces sujets ont suivi un entraînement spécifique, axé sur les saveurs et les sensations en bouche. 15

séances d'une heure et demie ont été consacrées à la détermination des seuils de détection et à la discrimination des saveurs sur différents supports (tableau 14).

Tableau 14 : Plan d'entraînement du panel de dégustation

Séances	Nombre de séances	Objectifs
<b>Détermination des seuils de détection</b>	6	Identifier le seuil moyen de détection de la saveur amère et salée du panel afin de voir si des sujets ont des seuils de perception très différents
<b>Entraînement à la notation sur une échelle</b>	8	Entraîner le panel à discriminer les saveurs sur différents supports

Pour mesurer les seuils de détection des saveurs, des solutions aqueuses (à base d'eau déminéralisée) ont été réalisées avec des molécules de référence pour chaque saveur. Pour l'amer, plusieurs molécules sont possibles (Keast and Roper 2007) : la caféine, la quinine, la leucine ou la molécule Propylthiouracile (PROP). Même si cette dernière est très largement utilisée pour déterminer la sensibilité à l'amertume (Prescott et al. 2001), notre choix s'est tourné vers une molécule se rapprochant au plus près de l'amertume perçue dans le fromage. La leucine, acide aminé hydrophobe qui se retrouve dans les fromages, a été choisie (Smit et al. 2005). Le chlorure de sodium a été choisi comme molécule de référence pour la saveur salée. Les saveurs umami et sucrée n'ont pas été prises en compte étant donné que ces saveurs ne sont pas prédominantes dans les fromages à pâte persillée. Par ailleurs, lors de la génération des descripteurs sur l'espace-produit « fromages à pâte persillée », ces deux saveurs n'ont pas été citées.

### 3.1.1. Mode opératoire

La méthode 3-AFC issue de la norme NF ISO 13301 est la méthode qui a été retenue et adaptée pour mesurer les seuils de détection (Chapitre 1 – Revue bibliographique).

Une gamme de cinq concentrations a été réalisée pour chacune des saveurs salée et amère (tableau 15). Les concentrations choisies pour la saveur salée sont issues de la norme NF ISO 3492 (AFNOR 2012b) et celles pour l'amertume sont issues d'une précédente expérience (non publiée) qui avait permis d'identifier le seuil de reconnaissance du panel autour de 2,5 g/l. Les solutions salées ont été préparées avec du chlorure de sodium (AnalaR Normapur, VWR Prolabo) et les solutions amères ont été préparées avec la molécule L-leucine (Sigma-aldrich).



Tableau 15 : Gamme de concentrations (C1 à C5) réalisée pour la Leucine et le chlorure de sodium pour déterminer le seuil de détection

Molécules	C1	C2	C3	C4	C5
L-Leucine (g/L)	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7
Chlorure de sodium (g/L)	0,34	0,48	0,69	0,98	1,40

Pour une concentration donnée, deux tests triangulaires ont été présentés à chaque sujet et dix tests ont été réalisés pour chaque gamme. Les seuils de détection ont été mesurés à deux températures de dégustation (20°C et à 50°C) afin de voir si le chauffage influe sur les seuils. Pour une meilleure robustesse des résultats et de la fiabilité du jury, chaque gamme a été répétée pour chacune des conditions. Les données obtenues ont été traitées grâce à un tableau issu de la norme ISO 13301 permettant de déterminer le meilleur seuil estimé (Best Estimate Threshold- BET). Les BET pour chaque sujet ont été obtenus par le calcul de la moyenne géométrique de la concentration la plus élevée non détectée et de la concentration juste supérieure. Le seuil moyen correspond à la moyenne des seuils obtenus par sujet.

### 3.1.2. Résultats

#### ➤ Seuil de détection du NaCl

Les seuils de détection du panel de dégustation pour le NaCl sont sensiblement les mêmes quelle que soit la température. A 20°C, le seuil moyen est de 0,57 g/L et à 50°C 0,62 g/L (Mcsweeney 1997). D'après la littérature, les seuils de détection varient selon la population mais aussi selon la méthode utilisée. Mitchell et al. (2013) trouvent un seuil de détection de  $10,03 \pm 0,78$  mM (soit un seuil de 0,58g/L) pour une population irlandaise (n = 60 personnes) tandis que Lucas et al. (2011) identifient un seuil de 5,45 mM (soit 0,32 g/L) dans un groupe australien (56 personnes). La différence de seuil du panel entre les deux températures est négligeable concernant la saveur salée (Figures 11a et 131b). En revanche, les écarts entre les individus sont importants. Le sujet 15 présente un seuil beaucoup plus bas que la moyenne pour cette saveur et ce aux deux températures. Par contre, les sujets 8 et 11 ont, quant à eux, des seuils très élevés. Ces différences pourraient s'expliquer par des phénomènes physiologiques ou oraux. Il pourrait également s'agir d'un effet « âge ». Ces deux personnes sont âgées d'environ 70 ans et certaines études ont montré une sensibilité diminuée avec l'augmentation de l'âge lorsque les substances sapides étaient dissoutes dans l'eau. (Kremer et al. 2007). Le modèle de régression linéaire entre l'âge et le seuil de détection

(non présenté ici) indique une corrélation significative ( $R^2 = 0,47$  à  $20^\circ\text{C}$  et  $R^2 = 0,54$  à  $50^\circ\text{C}$ ). Cependant, l'âge n'explique que 47% et 54% de l'information dans le modèle. D'autres facteurs doivent contribuer à cette différence de perception entre les sujets. D'après les résultats, une dispersion intra-sujet est visible. Même si les conditions de préparation ont été similaires entre les séries, l'état physiologique des sujets peut être une piste pour comprendre ces écart-types.

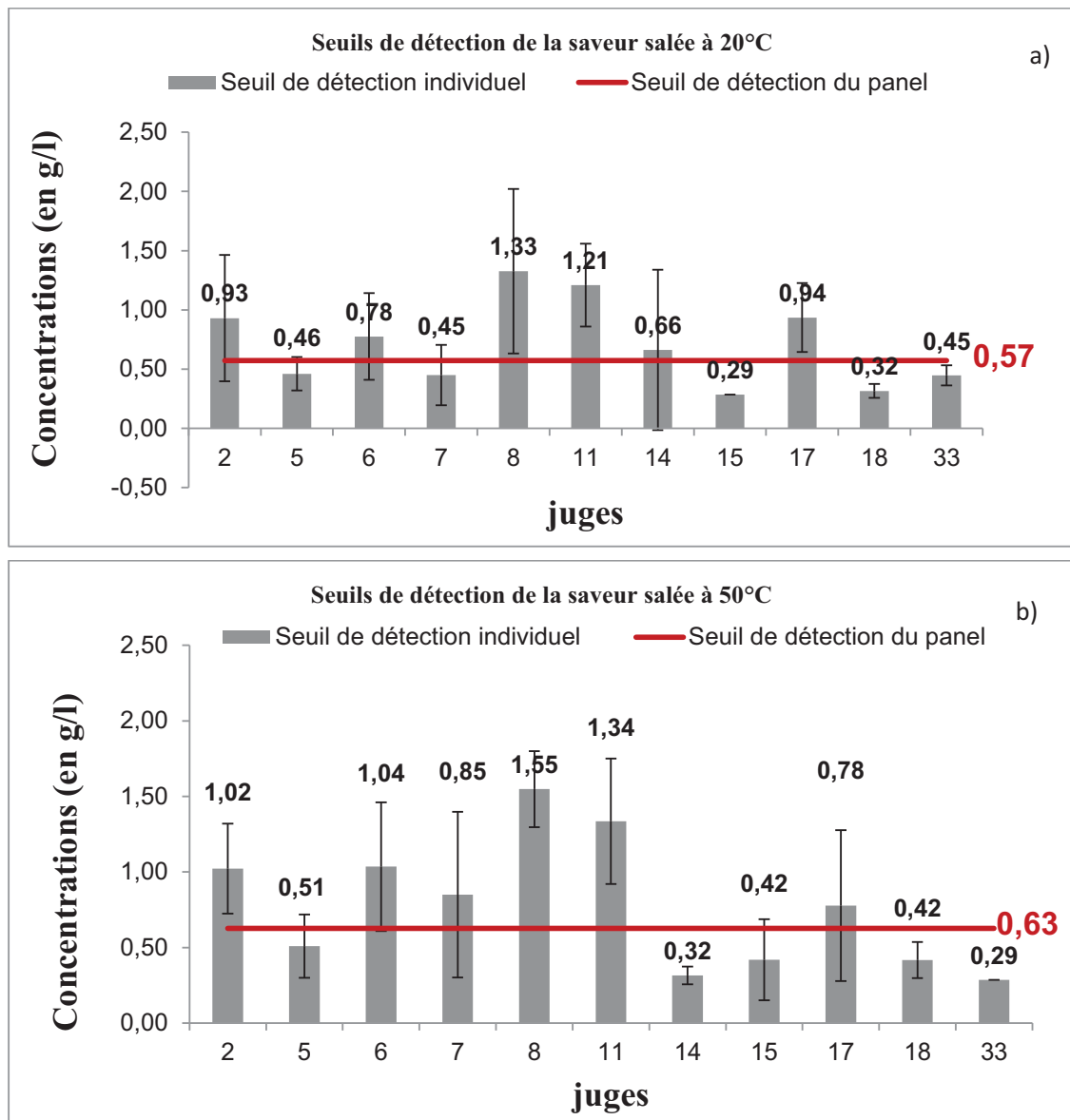
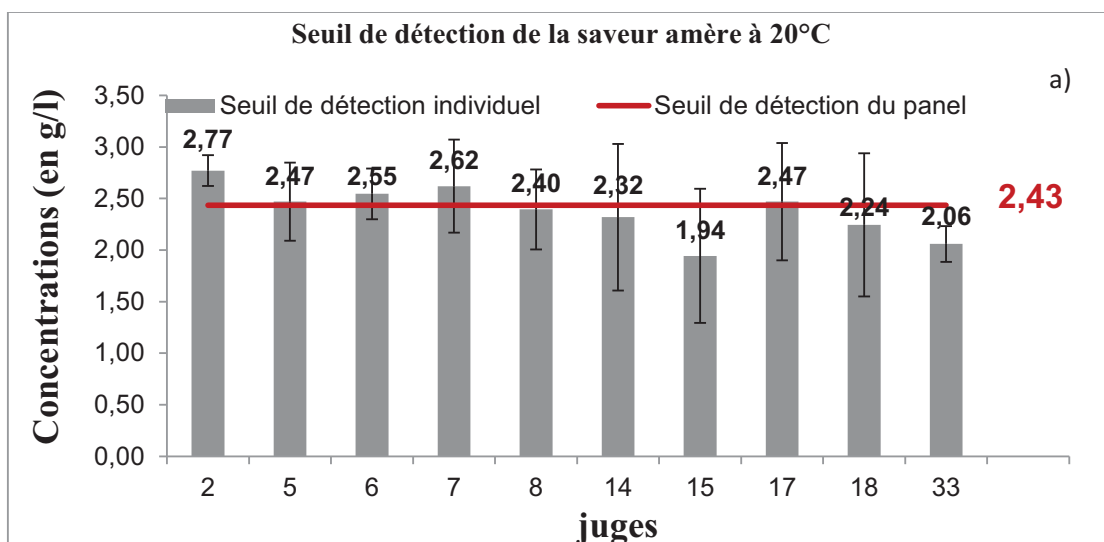


Figure 11 : Seuil de détection moyen et individuel évalué à partir de la méthode 3-AFC : a) Saveur salée (NaCl -  $20^\circ\text{C}$ ) ; b) saveur salée (NaCl -  $50^\circ\text{C}$ )

### ➤ Seuil de détection de la leucine

A 20°C, le seuil moyen du panel est de 2,43g/L tandis qu'à 50°C, le seuil est de 2,18 g/L (Figure 12a et 12b). Le seuil de détection pour la leucine n'est pas défini dans la littérature comparée à la caféine ou au PROP. Par exemple, Keast et al. (2007) identifient un seuil de  $1,2 \pm 0,12$  mM (0.23 g/L) pour la caféine et un seuil de  $0,088 \pm 0,07$  mM (0,015 g/L) pour le PROP. Chang et al. (2006) identifient un seuil de  $0,94 \pm 3,01$   $\mu$ M pour la quinine sur une population de 69 personnes.

Malgré une différence non significative entre les deux seuils, le seuil de détection est légèrement plus bas à chaud qu'à froid. Il semblerait que cette molécule soit plus facilement détectable à chaud. En effet, des études montrent que selon le composé étudié, le chauffage des solutions peut augmenter ou diminuer le seuil de détection (Moskowitz 1973). Par exemple, l'amertume de la caféine diminue lorsque la langue et la solution sont refroidies. Pour la quinine, le phénomène inverse se produit (Green and Frankmann 1987). Les seuils établis de façon individuelle montrent que la variabilité entre les individus est faible mis à part pour quelques sujets qui ont des seuils légèrement plus hauts que la moyenne (sujet 2) ou plus bas (sujet 15).



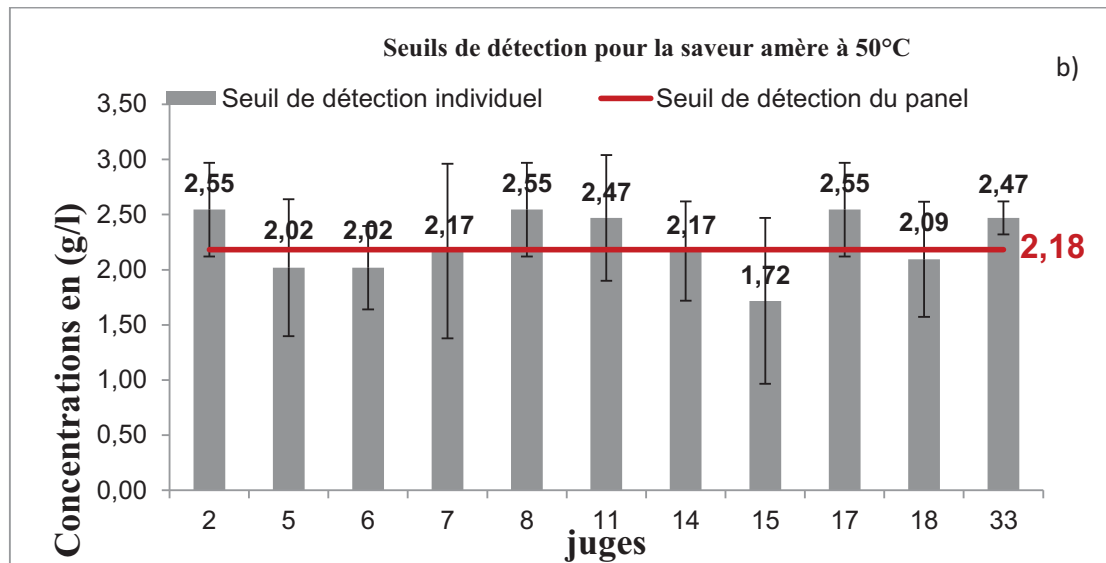


Figure 12 : Seuil de détection moyen et individuel évalué à partir de la méthode 3-AFC : a) saveur amère (Leucine- 20°C) ; b) saveur amère (Leucine - 50°C)

A noter, le sujet 11 n'a pas été disponible à toutes les séances et avait un seuil de détection assez élevé (pour le salé) par rapport aux autres sujets, il a donc été écarté du panel de dégustation. Au total, 10 personnes ont été sélectionnées pour l'étude.

## 3.2. ENTRAÎNEMENT A LA RECONNAISSANCE DES SAVEURS DANS DIFFÉRENTES MATRICES

### 3.2.1. Mode opératoire

Dans les aliments, la perception des saveurs va être modifiée par des interactions inter-modalités texture-saveur, saveur-arôme et saveur-saveur. Les effets synergiques, masquants ou inhibiteurs entre les saveurs, ont largement été étudiés dans la littérature (Breslin and Beauchamp 1995; Keast et al. 2004). Différentes phases ont été réalisées pour entraîner le panel à la reconnaissance et à la notation des différents saveurs, testées sur différents supports (eau et matrice fromagère).

**Une première phase d'entraînement** a été basée sur la perception des saveurs dans des solutions aqueuses à différentes concentrations (chlorure de sodium, leucine) en mélange simple ou binaire. Les résultats ne seront pas exposés dans ce paragraphe.

**La deuxième phase d'entraînement** a eu pour objectif de discriminer différents échantillons par ajout d'une substance salée ou amère dans une solution aqueuse ou une matrice fromagère (Fourme d'Ambert). Les fromages ont été broyés à l'aide d'un mixeur pour permettre plus facilement l'incorporation des substances chimiques. Après ajout, une homogénéisation manuelle a été

réalisée.

Afin de tester les concentrations à incorporer dans la matrice fromagère, des tests préliminaires ont été effectués sur différentes concentrations dans l'eau à 20°C. Pour chacun de ces supports, 5 solutions ont été réalisées avec 4 concentrations différentes et un témoin (sans ajout de substance). Le seuil moyen de détection du jury pour chaque substance a été pris comme point de départ pour établir les quatre concentrations testées. Les saveurs ou sensations les plus caractéristiques des fromages ont été évaluées : salé, amer, piquant. Chaque descripteur a été noté sur une échelle d'intensité linéaire allant de 0 (absence de perception) à 10 (perception très intense). Les mesures ont été répétées 3 fois.

### **3.2.2. Résultats**

#### ***3.2.2.1. Perception des intensités dans des solutions aqueuses simples***

Les résultats de l'ANOVA à 2 facteurs réalisée sur les solutions aqueuses à différentes concentrations de Chlorure de sodium et de Leucine indiquent un effet « concentration » significatif. Le panel a été capable de discriminer les différentes concentrations dans l'eau quelle que soit la nature du stimulus. Par ailleurs, aucune interaction produit\*sujet n'apparaît significative, ce qui souligne un bon consensus du panel. De là, les mêmes concentrations ont été intégrées dans un support fromager.

#### ***3.2.2.2. Perception des intensités dans une matrice fromagère***

Les résultats issus de l'ANOVA indiquent que l'effet de la concentration n'est pas significatif ( $p > 0,05$ ) sur l'intensité des perceptions gustatives. En d'autres termes, l'intensité des perceptions (salé, amer et piquant) est notée de manière équivalente (figures 13 et 14) quelle que soit la concentration de substance ajoutée.

Plusieurs explications peuvent être à l'origine de cette absence de différences entre les produits à différentes concentrations ajoutées. Il peut s'agir tout d'abord d'un effet dû à la matrice fromagère. Il a été démontré que les propriétés texturales des aliments affectent l'intensité de la saveur. Le remplacement de l'eau dans un aliment par un agent gélifiant ou épaississant réduit généralement l'intensité de la perception de la saveur (Calvino et al. 1993). L'absence de différence entre les saveurs perçues malgré des concentrations différentes pourrait donc être due à la présence des protéines dans les fromages.

L'autre hypothèse pourrait être due à l'influence de la perception salée du fromage qui masque

l'amertume. Des études ont montré que l'amertume pouvait être supprimée à la fois par des stimuli sucrés mais aussi par la saveur salée (Calvino et al. 1993; Green et al. 2010). De plus, l'amertume présente dans les fromages est liée à différents composés : acides organiques, minéraux, acides aminés hydrophobes. Il se peut que ce composé soit masqué par les autres composants et n'augmente pas suffisamment l'amertume.

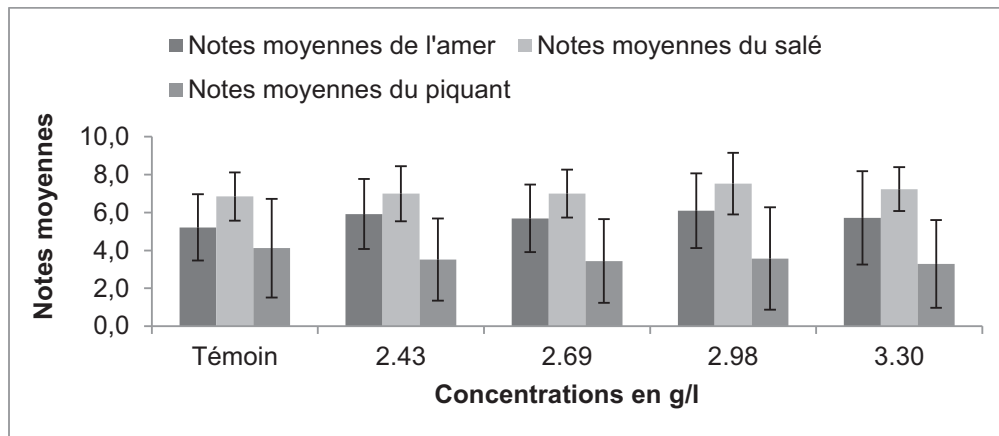


Figure 13 : Moyennes des intensités perçues dans la matrice fromagère après ajout de la leucine - 20°C

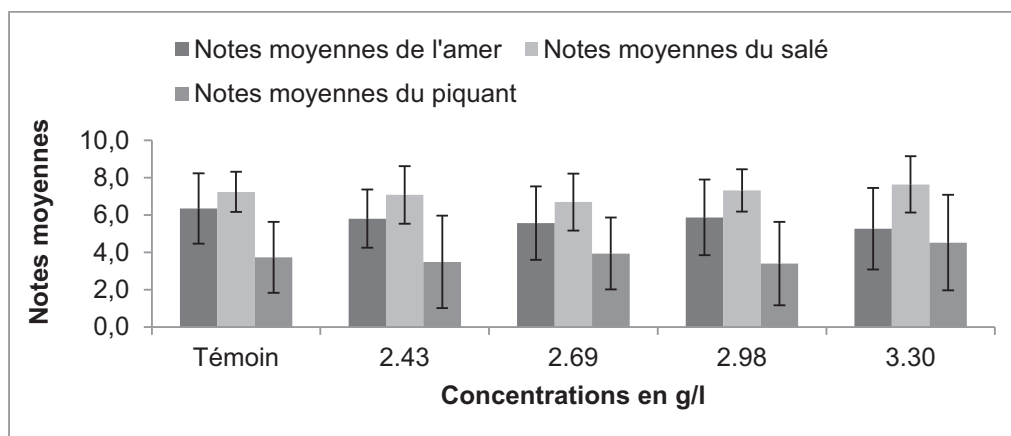


Figure 14 : Moyennes des intensités perçues dans la matrice fromagère après ajout de la leucine - 50°C

Pour la saveur salée, le même phénomène est observé. L'ajout de sel ne permet pas de modifier l'intensité des saveurs salée, amère et piquante (figures 15 et 16). Ce résultat pourrait s'expliquer par le caractère à l'origine très salé des fromages. L'ajout de NaCl à une matrice déjà riche en sel n'a pas changé la perception de la saveur salée, les sujets ayant atteint un seuil de saturation. Malgré une homogénéisation des fromages avec les substances, il est possible qu'il y ait une mauvaise migration et diffusion des molécules, qui n'est pas permis une modification des saveurs dans le support fromager.

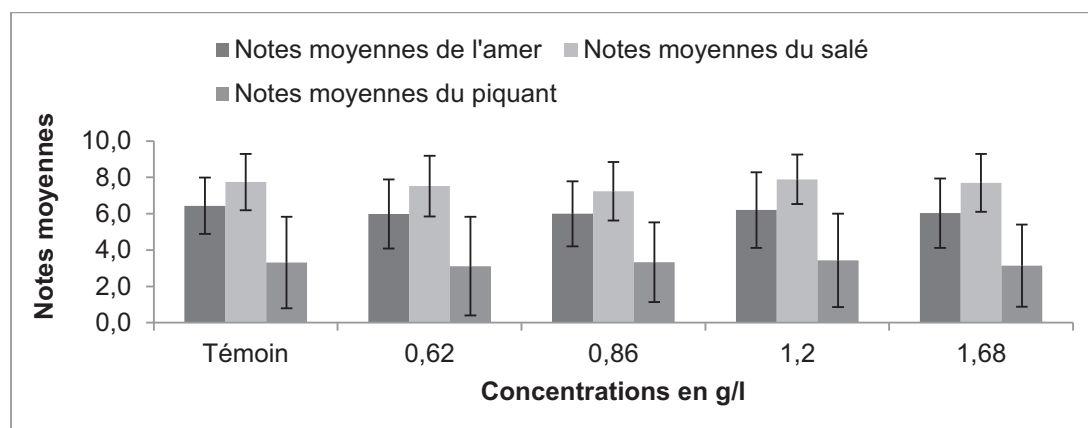


Figure 15 : Moyennes des intensités perçues dans la matrice fromagère après ajout du chlorure de sodium - 20°C

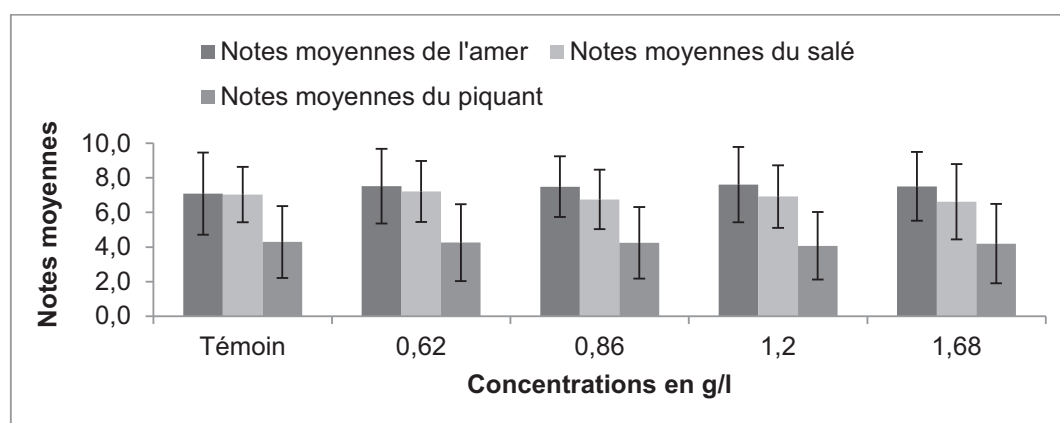


Figure 16 : Moyennes des intensités perçues dans la matrice fromagère après ajout du chlorure de sodium - 50°C

En conclusion, l'intensité des perceptions dans les solutions aqueuses évoluent selon les concentrations des substances et chaque concentration a bien été discriminée par le panel. En revanche, dans une matrice alimentaire, après incorporation de substances sapides aux mêmes concentrations que celles utilisées dans les solutions aqueuses, aucune modification de l'intensité des perceptions gustatives n'a pu être mise en évidence. La matrice influence fortement les perceptions, ce qui ne permet pas d'identifier des différences avec l'ajout de substance (Keast and Breslin 2002).

### 3.2.3. Synthèse

La détermination des seuils de détection a permis d'avoir une estimation de la sensibilité moyenne du panel sur les saveurs amère et salée et permet ainsi d'observer les variabilités individuelles. Toutefois, ces résultats sont obtenus à partir de solution aqueuse et les perceptions peuvent être modifiées selon le support utilisé. Les résultats suivant montrent que selon la molécule, sa

concentration et la matrice, les perceptions peuvent être différentes et les interactions intra-modalités semblent jouer un rôle dans cette perception. Pour la suite, il est nécessaire de fixer le type de support sur lequel les perceptions gustatives vont être analysées.

Outre le fait que la variabilité inter-individuelle est un facteur à prendre en compte dans la mesure de la perception, les conditions de dégustation et de préparation des échantillons telles que la taille des échantillons (Lucas et al. 1987), la température de service (Mony et al. 2013 ; Brown et al. 2008) et les contenants (Raudenbush et al. 2005) sont également des facteurs à définir pour minimiser les effets sur les mesures de la perception tout en maîtrisant, en parallèle, les conditions liées à l'environnement (boxs individuels, maîtrise de la température ambiante, renouvellement de l'air...) (Nicod et al. 2009). Par la suite, les conditions de préparation, de présentation et de dégustation sont à déterminer suivant le produit testé. Dans ce prochain paragraphe, nous allons donc aborder l'ensemble de ces paramètres permettant d'établir la mise au point du protocole.

## **4. MISE AU POINT DES CONDITIONS DE PREPARATION ET DE DEGUSTATION**

---

### **4.1. CONDITION DE PREPARATION**

#### **4.1.1. Forme des échantillons de fromages à chaud**

Les conditions de préparation ont dû être mises au point et adaptées aux fromages à chaud. D'après la littérature, l'analyse sensorielle des fromages à chaud a fait l'objet de peu d'études contrairement à celle des fromages à froid (Guinee and O'Callaghan 1997; Guinee et al. 2000b). Les protocoles identifiés sont le plus souvent adaptés aux mesures instrumentales (Richoux et al, 2001, Guinee et al. 2000). Le poids et la forme des échantillons varient en fonction des objectifs. En se basant sur ce large éventail de préparation, des essais ont été réalisés entre une forme cubique et râpée. Il s'est avéré que le fromage râpé présentait un comportement différent de celui du fromage coupé en dés, il exsudait beaucoup d'huile et avait un aspect brouillé. Pour être plus proche de l'utilisation de ce type de fromages dans des sauces, dans des produits de snacking (le râpé n'existe pas pour les fromages à pâte persillée vendus pour le particulier), nous avons opté pour une découpe en dés de 2 cm<sup>3</sup>. Un poids de 20g a été jugé suffisant pour obtenir une bonne fonte et une quantité nécessaire pour la dégustation.

Pour le test consommateurs et les profils sensoriels associés, il a été préférable d'utiliser une présentation représentative des modes d'utilisation, soit une présentation en tranche de 30g.



Le tableau 16 répertorie les différents modes de présentation adaptés selon les étapes de la démarche expérimentale.

Tableau 16: Mode de présentation des échantillons de fromages dégustés à froid ou à chaud selon les différentes expérimentations

Profils gustatifs des fromages entiers : (expérimentation 2)	Perception des consommateurs vis-à-vis des fromages à froid et à chaud et profils sensoriels associés (expérimentation 1)	
Dégustation des fromages à froid et à chaud	Dégustation des fromages à froid	Dégustation des fromages à chaud
20g de fromages découpés en dés de 2 cm <sup>3</sup>	présentation en tranche de 30g et de 2 cm de hauteur	20g de fromages découpés en dés de 2 cm <sup>3</sup> et chauffés à 200°C pendant 4 minutes

#### 4.1.2. Choix du support

La texture influence les propriétés d'arômes notamment les propriétés de partage et de diffusion des arômes (de Roos 2003; Saint-Eve 2006) et les saveurs (Panouillé et al. 2011). Par ailleurs, entre plusieurs ingrédients, le transfert de masse des composés chimiques peut aussi altérer les propriétés fonctionnelles des fromages (Wang et al. 1998). En conséquence, pour pouvoir identifier uniquement l'effet de la chaleur sur les qualités sensorielles et plus particulièrement sur les propriétés gustatives et pour éviter le biais de l'effet des interactions entre le fromage à chaud et le support, il nous a semblé judicieux de ne pas utiliser de support. Les fromages ont donc été chauffés dans des capsules en aluminium (H =16mm ; Ø=70mm) (photo 1).



Photo 1 : Présentation des fromages à chaud dans des coupelles aluminium

## 4.2. SELECTION DES TEMPERATURES DE CHAUFFAGE DES FROMAGES

### 4.2.1. Mesure du temps de fonte

Pour l'étude des fonctionnalités des fromages à chaud, les plages de températures varient généralement entre 20°C et 200°C selon les études réalisées. Wang and Sun (2004) décrivent dans leurs travaux le protocole de chauffage utilisé sur le Cheddar : six températures de 70°C à 200°C.

Reparet (2000) étudie les distances d'étalement de différents fromages entre 30°C et 80°C. Tandis que Abbas (2012) étudie différents paramètres rhéologiques sur les fromages à pâte persillée entre 35°C et 80°C. Pour identifier le début de fonte des fromages à pâte persillée, la première étape a été de prendre en compte (i) le point de ramollissement et (ii) le point de goutte. **Le point de ramollissement** correspond au moment où la première goutte d'un échantillon de fromage commence à se former au cours du chauffage (Blumenthal et al. 1976). **Le point de goutte** correspond à la première goutte qui se détache. D'après les points de ramollissement réalisés sur les fromages à pâte persillée, la température moyenne est de 55°C (tous fromages confondus) tandis que les points de goutte sont aux alentours de 56°C (tableau 17).

Tableau 17 : Moyenne et écart-type des points de goutte et points de ramollissement des différentes catégories de fromages à pâte persillée

Catégories de fromage	Point de goutte (°C)	Point de ramollissement (°C)
Fourme d'Ambert	57,81 ( $\pm 3,26$ )	56,47 ( $\pm 5,11$ )
Fourme de Montbrison	61,75 ( $\pm 4,22$ )	61,16 ( $\pm 4,38$ )
Bleu d'Auvergne	53,21 ( $\pm 2,39$ )	52,19 ( $\pm 7,16$ )
Bleu des Causses	50,99 ( $\pm 4,84$ )	49,95 ( $\pm 5,80$ )

#### 4.2.2. Mesure du temps de ramollissement et d'étalement à différentes températures

Suite aux résultats précédents, le début de la fonte de ces types de fromages a été fixé à une température de 50°C pour une utilisation dans des sauces chaudes. Notre objectif étant bien d'identifier le comportement des propriétés sensorielles à chaud et de les utiliser dans des préparations culinaires, nous avons sélectionné également une température maximale de 220°C. Cette température finale correspond à une température à laquelle certaines préparations culinaires sont chauffées au four (pizza, quiche, gratins...). Pour les températures intermédiaires, un pas de 30°C a été ensuite appliqué. Au total, 7 températures ont été étudiées : 50°C, 80°C, 110°C, 140°C, 170°C; 200°C, 220°C.

Pour identifier le temps de fonte des fromages à pâte persillée, les couples temps/température ont été mesurés sur les 4 catégories de fromages étudiées : Fourme d'Ambert, Fourme de Montbrison, Bleu des Causses et Bleu d'Auvergne.

Des dés de 20g de fromage ont été découpés et placés dans des coupelles aluminium puis ces dernières ont été mises au four à chaleur sèche SelfCooking Center (Frima, Wittenheim, France).

Chaque mesure a été répétée 3 fois.

Pour chacune de ces températures, le temps optimal a été déterminé selon le ramollissement des fromages à basse température et suivant l'étalement des fromages à haute température. Ce temps de fonte a été évalué également de manière visuelle.

Les résultats concernant les couples/temps température sont listés dans le tableau 18 qui représente la moyenne évaluée sur les 3 répétitions et l'écart-type associé. Globalement, les couples temps/températures sont proches. A 110°C, à partir de la 11<sup>ème</sup> minute, les fromages se déstructurent rapidement mais pas complètement. A 170°C, la fonte est totale au bout de 5 minutes. Le temps de fonte ne diffère pas entre 200°C et 220°C quelle que soit la catégorie de fromages.

*Tableau 18 : Temps de fonte évalué en secondes pour chaque température selon les différentes catégories de fromages à pâte persillée*

Température (en °C)	Fourme d'Ambert		Fourme de Montbrison		Bleu d'Auvergne		Bleu des Causses	
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET	Moyenne	ET
50	45,0	2,9	38,7	1,5	45,0	1,4	42,6	2,4
80	31,7	2,9	17,3	2,3	33,5	2,1	31,4	2,1
110	11,3	0,6	11,7	0,6	12,5	0,7	10,5	1,1
140	7,0	1,7	7,0	1,0	10,5	2,1	7,6	1,3
170	4,7	0,6	4,7	1,2	5,0	0,0	4,5	0,2
200	4,0	0,0	3,3	0,6	3,5	0,1	4,2	0,9
220	3,3	1,2	3,0	1,0	3,8	0,4	3,5	0,8

Les conditions couples temps / température ont été respectées dans toutes les expérimentations suivantes.

#### **4.2.3. Sélection des températures de chauffage à étudier**

L'objectif étant d'analyser les conséquences sensorielles du traitement thermique sur les fromages, nous avons étudié l'impact des différentes températures de chauffage sur les perceptions gustatives.

Pour cela, un profil sensoriel a été mené sur 2 catégories de pâte persillée (Fourme d'Ambert et Fourme de Montbrison) afin de mettre en évidence les évolutions des perceptions gustatives des fromages aux différentes températures. Une cinétique de température de chauffage a été appliquée sur les fromages entiers de 50° à 220°C. Pour chaque cas, les couples temps/température du tableau 18 ont été appliqués.

##### **4.2.3.1. Mode opératoire**

Le jury a dû évaluer l'intensité de 4 descripteurs gustatifs : salé, amer, acide et piquant sur une échelle non structurée de 10 cm, de 0 (perception non perçue) à 10 (perception très intense). Pour éviter l'influence des arômes sur les saveurs, le pince-nez a été utilisé pour évaluer les descripteurs.

Les fromages ont été préparés comme détaillé dans la partie « Condition de préparation - 4.1. ». A leur sortie du four, les échantillons ont été présentés au jury. Les produits ont été dégustés à une température aux alentours de  $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Les échantillons ont été présentés de manière monadique séquentielle et selon un plan en carré Latin. Sept produits ont été évalués par séance. Tous les échantillons ont été répétés 3 fois.

#### 4.2.3.2. Résultats

##### 4.2.3.2.1. Approche globale

Les ACP réalisées sur les moyennes des notes issues du profil sensoriel permettent de positionner les deux catégories de fromages aux différentes températures.

Pour la Fourme d'Ambert, les deux premiers axes restituent 94% de l'information (figure 17). L'axe 1 (84,43%) est décrit par l'ensemble des descripteurs gustatifs. Il oppose les fromages (T50, T80, T110, T140, T180, T200 et T220) à forte intensité gustative aux fromages à plus faible intensité (T20 et T170). Majoritairement, les fromages à chaud présentent des intensités plus fortes. A froid, le fromage est perçu moins intense. Autre constat, les fromages à chaud ne semblent pas se démarquer entre eux selon la température.

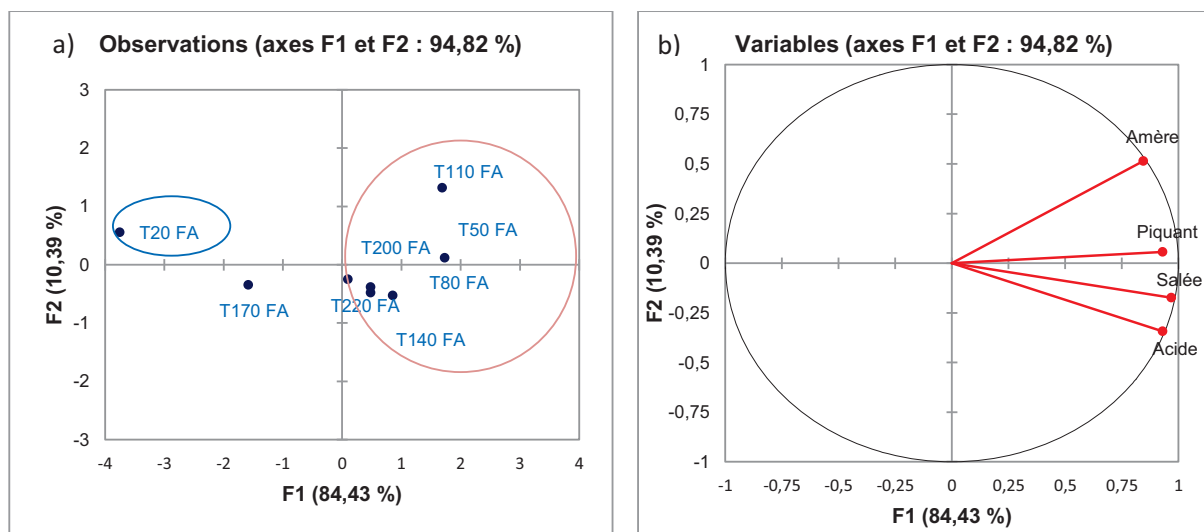


Figure 17 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les données des profils sensoriels des Fourmes d'Ambert

Pour la Fourme de Montbrison, le comportement est légèrement différent (figure 18). Les deux premiers axes représentent 86% de l'information totale. Les saveurs acide, salée et le piquant décrivent l'axe 1, qui oppose les fromages à T140, T170 et T220 aux fromages T20, T50, T80 et

T200, présentant un profil de saveur moins intense. L'amertume est indépendante et ne semble pas être modulée par la température. A 50°C, 80°C et 200°C, les fromages se positionnent de manière intermédiaire entre les fromages à froid (T20) et les fromages chauffés à 140°C, 170°C et 220°C.

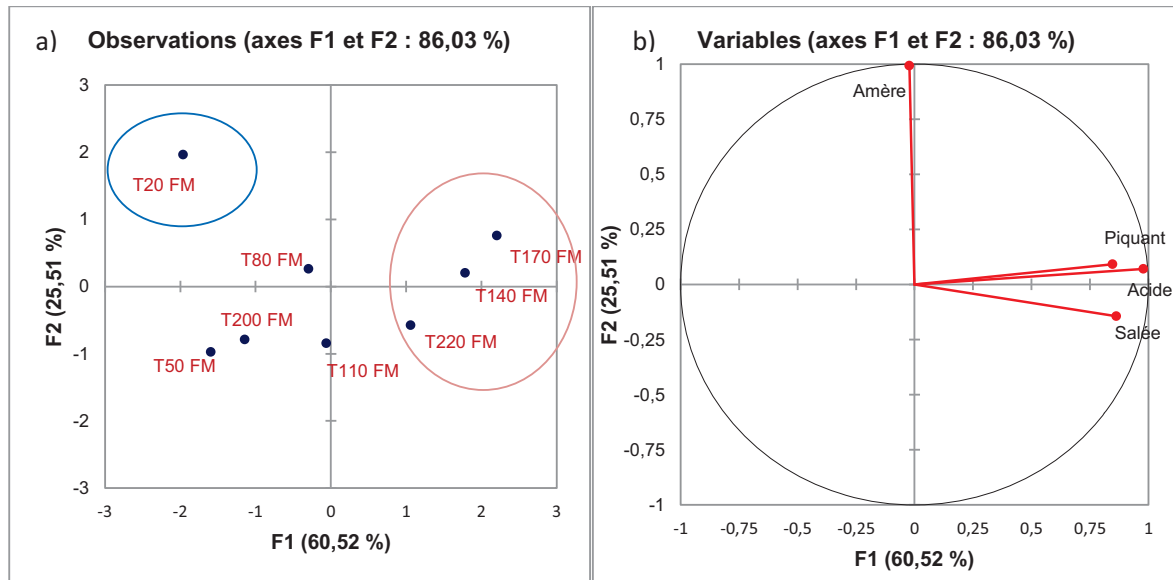


Figure 18 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les données des profils sensoriels des Fourmes de Montbrison

Suite à ces résultats, deux constats peuvent être émis :

- la relation linéaire entre la température et l'intensité des perceptions n'est pas validée. Par contre, une opposition nette entre les fromages dégustés à froid (20°C) et les fromages à chaud (Température > à 200°C) est visible quel que soit le type de fromages testé. Cependant, toutes les températures testées ne semblent pas affecter les perceptions gustatives.
- La température agit de manière différente selon le type de fromage. Pour la Fourme de Montbrison, l'intensité de l'amertume ne semble pas être touchée par le chauffage.

Les résultats de l'ANOVA indiquent que les perceptions salée, acide et piquante sont perçues plus intensément à une température de 200°C qu'à une température de 20°C pour la Fourme d'Ambert. Pour la Fourme de Montbrison, les saveurs salées et acides et le piquant évoluent avec le chauffage. Le salé est moins intense à 20°C qu'à 170°C. En revanche, il n'y a pas de différence entre 20°C et 200°C pour le salé, l'amertume ou le piquant.

Suite à ces résultats, 3 conditions de températures ont été sélectionnées pour les raisons suivantes (tableau 19) :

Tableau 19 : Sélection des températures de chauffage et argumentaires associés

Condition de traitement thermique	Dénomination	Raisons scientifiques (biochimique et sensoriel)	Raisons techniques ou culinaires
20°C	Fromages à froid	Témoin	Température de dégustation des fromages (Kubicková and Grosch 1998)
80°C	Fromages à chaud	A partir de 45-50°C : la fonte des matières grasses entraîne une libération des arômes. Une modification des interactions protéines-protéines, protéines-lipides est également observée (Abbas, 2012) Entre 60°C-80°C : déstructuration du réseau protéique – diminution de la force totale des liaisons et/ou du nombre de liaison	Température atteinte pour la réalisation d'une sauce
200°C		Selon les températures, l'exsudation d'huile apparaît plus ou moins rapidement (Wang and Sun 2004)	Température de chauffage pour les produits de snacking

#### 4.2.4. Condition de dégustation

##### 4.2.4.1. Choix de la température de dégustation

Comme pour les autres facteurs la température de dégustation est l'un des facteurs qui peut influencer les réponses sensorielles. A notre connaissance, aucune étude n'a été réalisée sur les fromages à chaud sur la température de service ou de dégustation mais d'autres produits comme le café ou la soupe ont été plus étudiés. Pour les boissons chaudes (chocolat, thé ou café), les températures de services sont comprises entre 71,1°C et 85°C (Borchgrevink et al. 1999). Mais à ces températures, des brûlures peuvent être occasionnées. Dans la littérature médical, il est évoqué que ces températures sont considérées potentiellement dangereuses pour les personnes. Entre 15°C et 44°C, peu de dommages sont engendrés sur la peau mais au-dessus de 44°C, les nocirécepteurs sont stimulés et peuvent ainsi provoqués une sensation de douleur (Tominaga and Caterina 2004). Borchgrevink et al. (1999) montrent, par un test consommateurs, que la température idéale pour la consommation de café se situe autour de 62,8°C - 68,3°C. Plus récemment, Brown et Diller (2008) ont mis au point un indicateur qualité (modèle mathématique) et ont identifié une température de dégustation idéale de 57,8°C. Au vu des autres protocoles cités dans la littérature sur d'autres produits comme les soupes ou du poisson (Michon et al. 2010; Mitchell et al. 2011; Paulsen et al.

2012), les températures de service varient entre 54°C et 77°C. Pour les viandes, la température à cœur est généralement plus contrôlée que la température de service (Carlucci et al. 1999). Il semblerait que la température de service ou de dégustation soit dépendante des produits à analyser et des objectifs. Par ailleurs, Kim et al. (2014) montrent que certains consommateurs qui ne sont pas habitués à consommer des soupes chaudes (70-80°C) sont plus attentifs à la température des produits (peur de se brûler) qu'aux qualités sensorielles (cette étude mesure la perception salée). Nous avons choisi une température de dégustation voisine de 50°C±2°C.

En revanche, pour la deuxième expérimentation, un autre problème a été soulevé. Après extraction des fractions solubles issues des fromages à froid ou à chaud, les fractions sont lyophilisées puis remises en suspension. Les fractions sont donc à température ambiante. Pour rappel, notre objectif est de comparer les profils gustatifs (acide, amer, salé et piquant) des fractions solubles à ceux des fromages entiers, nous avons, uniquement pour l'expérimentation 2, choisi de déguster l'ensemble des échantillons (fraction solubles et fromages entiers) à 20°C. Lors de l'évaluation, les sujets devaient se concentrer sur les saveurs en utilisant un pince-nez. De ce fait, il nous a semblé plus judicieux de déguster ces échantillons à cette température.

**Deux températures de dégustation ont ainsi été sélectionnées selon les objectifs des différentes expérimentations.**

- Etapes 1, 2 et 3 (Expérimentation 1) : les échantillons de fromages ont été dégustés à 50±2°C. cette température est adaptée aux usages des consommateurs
- Etape 2 (Expérimentation 2) : les échantillons ont été dégustés à température ambiante (20±2°C)

#### ***4.2.4.2. Utilisation d'un pince-nez pour les mesures des perceptions gustatives***

##### **4.2.4.2.1. Mode opératoire**

L'utilisation d'un pince-nez semble inévitable dans la notation de la perception gustative. Comme souligné dans la littérature, de nombreuses études montrent que les odeurs et les arômes (Labbe et al. 2008), interagissent avec les saveurs, d'où l'intérêt de travailler avec un pince-nez (Salles et al. 1995; Mojet et al. 2005). Toutefois, le panel n'ayant pas l'habitude de déguster les produits avec un pince-nez, il a été nécessaire de l'entraîner à l'utilisation de celui-ci et de comparer leurs résultats avec et sans pince-nez. Les profils ont été menés sur de la Fourme d'Ambert (au lait pasteurisé) et les fractions solubles issues de ces fromages. Pour les deux types de fractions, les

échantillons ont été dégustés avec ou sans pince-nez (Décathlon, France) et répétés 3 fois.

#### 4.2.4.2.2. Résultats

Les graphiques (figures 19a et 19b) illustrent les moyennes des intensités des perceptions gustatives perçues dans les fromages entiers et dans les fractions solubles avec ou sans l'utilisation du pince-nez.

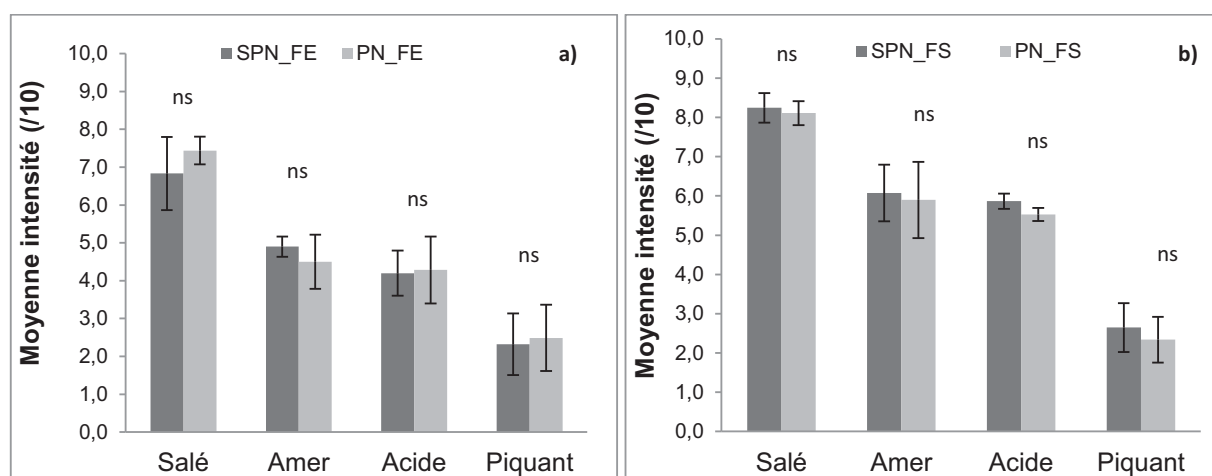


Figure 19 : Moyennes et écarts-types des intensités perçues dans les fromages entiers (FE) (a) et dans les fractions solubles (FS) (b) ; SPN = Sans pince-nez, PN = Avec pince-nez ; NS = non significatif

Les résultats du test de Student montrent qu'il n'y a pas de différences d'intensité ( $p > 0.05$ ) avec ou sans pince-nez quelle que soit la fraction.

Nos conditions expérimentales ne permettent pas de mettre en évidence un effet « pince-nez » sur les perceptions gustatives. Toutefois, nous maintiendrons ces conditions dans le cas des profils (expérimentation 2) avec le panel qualifié pour éviter toutes interactions même faibles sur les perceptions sensorielles.



#### 4.3. SYNTHÈSE DES CONDITIONS DE PRÉPARATION, DE PRÉSENTATION ET DE CHAUFFAGE SÉLECTIONNÉES

##### Condition de présentation

- Fromages découpés en dés de 2 cm<sup>3</sup> pour les profils gustatifs et globaux des fromages à chaud
- Fromages découpés en portion de 30g pour les tests consommateurs et les profils globaux des fromages à froid

##### Condition de températures

- 20°C
- 80°C ( Uniquement pour l'étape 2 - Expérimentation 2)
- 200°C

##### Température de dégustation

- 20°C pour les fromages qui n'ont pas subi de traitement thermique. Pour l'expérimentation 2 (étape 2), toutes les fractions et les fromages aux différentes conditions de température ont été testés à 20°C avec l'utilisation d'un pince-nez
- 50°C pour les fromages chauffés à 200°C.

## **CHAPITRE 4 : IMPACT DU CHAUFFAGE SUR LES PERCEPTIONS SENSORIELLES DES FROMAGES A PATE PERSILLEE**

---



## **PARTIE 1 : TYPOLOGIE DE LA DIVERSITE SENSORIELLE ET CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES QUATRE CATEGORIES DE FROMAGES A PATE PERSILLEE AOP A FROID ET A CHAUD**

---

Ce chapitre a fait l'objet d'un article en cours de soumission à « Food Science and Technology International ». Bord, C, Guérinon, D., Lebecque, A. **Impact of heating on sensory attributes of French PDO blue cheeses. Relationships with physicochemical parameters**

### **1.OBJECTIFS ET METHODOLOGIE**

---

Les fromages AOP à pâte persillée du Massif central semblent être des candidats potentiels pour être utilisés dans les préparations culinaires à froid et / ou à chaud. Regroupés dans la même catégorie technologique, il semble exister toutefois une diversité sensorielle entre ces fromages. Aucune donnée scientifique ne décrit la typologie sensorielle et biochimique des fromages à pâte persillée du Massif central aussi bien à froid qu'à chaud. Ainsi le premier objectif de cette étape a été de réaliser un screening sur différentes catégories de fromages à pâte persillée pour définir leurs qualités sensorielles selon deux conditions de température : à froid (20°C) et à chaud (200°C). L'originalité de cette étude est plutôt focalisée sur le comportement à chaud de ces 4 catégories pour tenter de définir leurs aptitudes culinaires. Par ailleurs, dans la littérature scientifique, les propriétés fonctionnelles (analysées par des mesures instrumentales) des fromages à chaud sont expliquées par certains paramètres biochimiques. Notre approche se veut différente dans le sens où nous avons souhaité relier les propriétés sensorielles, regroupant les qualités texturales et aromatiques /gustatives aux données physico-chimiques. De ce fait, le deuxième objectif a été de relier les données sensorielles des fromages à pâte persillée du Massif central à chaud avec celles issues des mesures physico-chimiques, pour tenter d'expliquer leurs comportements à chaud. Pour définir la diversité sensorielle de cette famille, une sélection de différentes catégories de fromages (Fourme d'Ambert = FA ; Fourme de Montbrison = FM ; Bleu d'Auvergne = BA ; Bleu des Causses = BC) a été réalisée. Pour chaque catégorie, 4 fromages ont été sélectionnés en faisant varier le temps d'affinage et le traitement thermique du lait. Au final, 16 fromages ont été analysés. La description des qualités sensorielles des fromages a été menée en utilisant un profil sensoriel (AFNOR 2010). Un jury qualifié de 10 personnes a évalué plusieurs descripteurs en relation avec

l'aspect, l'odeur, le goût et la texture des fromages, 25 pour les fromages à froid et 23 pour les fromages à chaud. Après un entraînement spécifique sur l'espace « fromages à pâte persillée », 6 fromages ont été évalués par séance d'évaluation d'une heure et demie sur une échelle linéaire continue de 10 cm. A chaque séance, les échantillons ont été présentés de manière monadique séquentielle et 3 répétitions ont été réalisées. En parallèle, plusieurs analyses physico-chimiques ont été menées. Le pH, les matières sèches, les matières grasses, la quantité de chlorures, la teneur en magnésium, en phosphate, en sodium et en calcium ont été mesurés sur chaque échantillon. Ces analyses ont été répétées trois fois.

Dans un premier temps, les données physico-chimiques ont été traitées avec une analyse de variance à un facteur (produit). Dans un second temps, les profils ont été traités avec une analyse de variance mixte à 2 facteurs (effet produit fixe et effet sujet aléatoire) avec interactions (produit \* sujet) pour identifier les descripteurs significatifs. Pour positionner les quatre catégories de fromages, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée sur les descripteurs significatifs. Pour compléter ces analyses, une Analyse Factorielle Discriminante (AFD) a ensuite été réalisée, sur les attributs sensoriels et les paramètres physico-chimiques pour chaque condition de température. Cette analyse a pour but de vérifier si les catégories identifiées a priori permettent une bonne discrimination (basée sur les attributs sensoriels ou paramètres physico-chimiques). Pour finir, une ACP (Pearson) a été effectuée entre les paramètres physico-chimiques et les attributs sensoriels issus des fromages à chaud pour observer les éventuelles relations et tenter d'expliquer certaines de ces propriétés sensorielles par les paramètres physico-chimiques.

## 2.RESULTATS ET DISCUSSION

---

L'analyse des résultats sur les mesures physico-chimiques a montré que les 4 catégories de fromages à pâte persillée pouvaient se différencier selon le pH, le taux de matière grasse, la teneur en azote soluble, le ratio azote soluble/azote total (NS/NT), et les teneurs en calcium, sodium et sel. Concernant les valeurs de pH, les différences significatives ont été observées entre la catégorie « *Fourme* » d'un côté (FA et FM) et la catégorie « *Bleu* » (BA et BC) d'un autre côté. Cette dernière présente des valeurs plus élevées par rapport à la catégorie « *Fourme* ».

La catégorie « *Bleu* » et la Fourme d'Ambert ont une teneur en sel plus élevée que celle de la Fourme de Montbrison. Cette différence peut s'expliquer par la technique de salage utilisée. Le salage se fait dans la masse avec du gros sel (pendant son moulage) pour la Fourme de Montbrison

tandis que pour les autres catégories le salage se fait à sec en surface ou en saumurage. Les matières azotées solubles et le ratio NS/NT sont des indicateurs qui renseignent de l'avancée de la protéolyse. Concernant la teneur en azote soluble, trois groupes significatifs sont identifiés. La catégorie BA présente la teneur la plus élevée contrairement à la catégorie FM. Ces différences entre les fromages peuvent être associées au stade d'affinage pour lequel généralement la quantité d'azote soluble augmente avec l'activité protéolytique. De ce fait, la Fourme de Montbrison présente un ratio NS/NT égal à 34,25, ratio deux fois moins important que celui des trois autres catégories de fromages ce qui indique que les fromages de cette catégorie sont moins affinés. Une différence significative est également observée sur la teneur en calcium pour laquelle la Fourme de Montbrison a la teneur la plus élevée. La quantité de calcium dans le fromage dépend du procédé technologique et du pH lors du caillage (Hassan et al. 2004). L'AFD réalisée sur l'ensemble des paramètres physico-chimiques pour les 16 fromages a permis de tracer une carte factorielle permettant de discriminer clairement les 4 catégories de fromages. Le Bleu d'Auvergne, le Bleu des Causses et la Fourme d'Ambert ont un profil physico-chimique proche en comparaison à la Fourme de Montbrison, sans doute dû à des différences technologiques (acidification, découpe du caillage, souche, temps affinage...). Ces résultats indiquent qu'il existe une variabilité au sein de chacune de ces familles. Même si le cahier des charges de chaque AOP est bien défini, au sein d'une même filière, les pratiques (type de souches et de ferments, ambiance la cave...) et le savoir-faire peuvent être modulés ce qui aboutit à des caractéristiques physico-chimiques légèrement différentes au sein d'une même catégorie de fromages.

Au niveau sensoriel, des profils différents et marqués ont également été observés selon les deux conditions de température. Les ACP réalisées sur les descripteurs significatifs (tous les descripteurs ont présenté une significativité) soulignent une bonne distinction entre les quatre catégories quelle que soit la température. La Fourme de Montbrison se distingue nettement des autres catégories tandis que la catégorie « *Bleu* » et la Fourme d'Ambert sont plus proches.

Plus spécifiquement, **à froid**, la catégorie « *Bleu* » se caractérise par des profils gustatifs proches, identifiés par des saveurs salée, amère et acide intense, une sensation piquante et des arômes d'ammoniac et de bleu caractéristiques. En termes de texture, ils sont peu fermes, crémeux et collant. La Fourme de Montbrison se distingue principalement par un profil gustatif peu développé. Sa texture ferme, granuleuse et peu crémeuse la rend plus spécifique. La Fourme d'Ambert,

présente des caractéristiques intermédiaires. Elle se définit par des saveurs d'intensité moyenne. En bouche, elle est ferme, moyennement granuleuse et peu crémeuse.

**A chaud**, l'analyse des profils montre que la Fourme de Montbrison est un fromage qui a une exsudation importante, elle s'étale et file peu. En bouche, elle est très caoutchouteuse, grasse mais elle n'est pas rugueuse. Son profil gustatif est peu intense, **comme à froid**, mais développe une note lactique et de gras marqué. La Fourme d'Ambert se définit par un profil gustatif d'intensité modérée avec l'apparition d'une note lactique. En bouche, elle est peu caoutchouteuse, peu rugueuse et peu grasse. En revanche, pour la catégorie « *Bleu* », ces fromages se caractérisent par des saveurs très prononcées telles que salée, amère et acide. En termes d'arôme, ils présentent des notes de "Bleu", d'ammoniac et d'étable plus prononcées que les deux fourmes. En bouche, ces fromages sont rugueux et gras. Par ailleurs, ces fromages se définissent également et principalement par leur texture à chaud. Les fromages « *Bleus* » sont nappants, ont une très bonne capacité à filer et exsudent peu d'huile. Richoux et al. (2001) montrent que la diversité fonctionnelle de 48 emmentals peut provenir de la composition et/ou du procédé technologique (temps d'affinage, traitement thermique du lait...). Les paramètres tels que la teneur en calcium, le rapport Gras/Matières Sèches (G/MS), le rapport NS/NT sont connus pour leur influence sur les propriétés technologiques (étalement et exsudation d'huile) des fromages, notamment de la Mozzarella. Dans la littérature, ces propriétés technologiques sont reliées aux paramètres physico-chimiques. Dans le cadre de notre étude, les paramètres physico-chimiques ont été reliés avec les attributs sensoriels afin de voir si certains constituants pouvaient être des marqueurs explicatifs de certaines propriétés sensorielles des fromages à chaud. Quelques corrélations significatives ont pu être ainsi observées. L'étalement (nappant) a été relié négativement à la quantité d'azote totale et positivement à la quantité de sel dans les fromages. Le filant présente une corrélation positive avec le pH. En revanche, une corrélation négative est observée avec la teneur en protéine totale et aucune corrélation significative n'a été observée entre la quantité d'azote soluble malgré une corrélation positive observée dans la littérature. Pour l'exsudation de gras des corrélations positives avec le calcium sont mises en évidence et des corrélations négatives sont significatives avec la teneur en sel et le rapport NS/NT. Concernant la texture caoutchouteuse, une relation positive est observée avec le calcium et négative avec le sel, le G/MS et le rapport Matière Sèches/Humidité (MS/H).

Certaines corrélations ont pu être aussi établies entre les paramètres physico-chimiques et les attributs gustatifs. La perception salée est reliée positivement avec la teneur en sel et le rapport Sel/MS (Lawlor et al. 2003). Le piquant est, quant à lui, relié positivement à la quantité de sel, au pH (Lawlor et al. 2001) et à la quantité d'azote soluble. Les arômes de « Bleu » sont reliés positivement à la quantité de gras, au rapport G/MS, au pH et à la teneur en sel.

Que ce soit avec les descripteurs de texture ou de flaveur, des relations significatives ont été mises en évidence avec la composition chimique, en accord avec les résultats identifiés dans la littérature sur les fromages à froid. Toutefois, même si ces relations sont significatives ceci n'implique pas une relation de cause à effet. Des études ont montré que l'acidité n'était pas forcément reliée au pH (Biede and Hammond 1979) et la perception salée ne dépend pas toujours de la concentration en sel. En effet, l'élaboration de ces modèles ne prend pas en compte les interactions éventuelles entre les différents constituants et la matrice dans laquelle évoluent les composés. Dans notre étude, l'analyse des composés aromatiques volatils et des acides gras libres serait nécessaire pour mieux expliquer les flaveurs des arômes à chaud. De plus, l'étude des composés de la fraction soluble pourrait être également associée à ces résultats pour identifier quels sont les composés qui contribuent aux propriétés gustatives des fromages à chaud.

### 3.CONCLUSION

Les profils sensoriels et les paramètres physico-chimiques réalisés sur 16 fromages à pâte persillée issus de quatre catégories différentes, selon deux conditions de température, ont permis d'obtenir un positionnement sensoriel et un screening biochimique de ces différentes catégories de fromages. Les analyses physico-chimiques ont permis de discriminer les fromages sur certains paramètres (G/MS, azote soluble et azote totale, sel, calcium). D'un point de vue sensoriel, les catégories se positionnent de manière différente et présentent des qualités propres selon les conditions de température. Les qualités texturales sont modifiées avec le traitement thermique mais certaines qualités notamment celles en lien avec la flaveur sont similaires à froid et à chaud. La catégorie « Bleu » se caractérise par des qualités sensorielles semblables de fortes intensités. La Fourme de Montbrison se démarque spécifiquement des trois catégories et la Fourme d'Ambert a un profil modéré qui la positionne de manière intermédiaire. D'une manière plus détaillée, **à chaud**, la catégorie « Bleu » se définit plus particulièrement par des propriétés culinaires adaptées aux préparations à chaud (filant, nappant et peu d'exsudation d'huile) et par des flaveurs intenses. En



revanche, la Fourme de Montbrison se détache complètement des autres catégories aussi bien par ses propriétés texturales, qui semblent moins adaptées au chauffage (moins filant, présentation d'exsudation d'huile, très caoutchouteuse et peu lisse) que par ses propriétés olfacto-gustatives peu intenses. La Fourme d'Ambert présente, quant à elle, un comportement à chaud intermédiaire.

**A froid, les mêmes tendances sont observées pour les saveurs.** La catégorie « Bleu » se caractérise par des saveurs salée, amère, acide et des notes « ammoniac et moisi ». La Fourme de Montbrison se distingue surtout par un profil gustatif peu développé tandis que la Fourme d'Ambert se définit par des saveurs d'intensité moyenne. Cette différence sensorielle se reflète également au niveau des paramètres physico-chimiques. Les catégories BA et BC ont une composition physico-chimique similaire tandis que la Fourme de Montbrison s'oppose à cette famille notamment par des différences ciblées sur la teneur en sel, la quantité de matière azotée et la quantité en calcium.

Enfin, le dernier constat mis en évidence dans cette étude concerne les relations entre les paramètres physico-chimiques et sensoriels réalisés sur les fromages à pâte persillée à chaud. Quelques paramètres physico-chimiques ont pu expliquer certaines propriétés sensorielles. Des corrélations ont été établies entre ces propriétés culinaires à chaud et les propriétés olfacto-gustatives, la teneur en matière grasse, la quantité de matière azotée (soluble et totale), le pH et la teneur en sel et de certains minéraux (Ca et P).

Dans l'article suivant, l'objectif principal s'est focalisé sur les qualités sensorielles des quatre catégories de fromages à pâte persillée à chaud ainsi que leurs relations avec les paramètres physico-chimiques.

## **Impact of heating on sensory properties of French PDO blue cheeses.**

### **Relationships with physicochemical parameters**

#### **Abstract**

The aim of this study was to measure the impact of heating on the sensory properties of blue-veined cheeses in order to characterise their sensory properties and to identify their specific sensory typology associated with physicochemical parameters. Sensory profiles were performed on a selection of PDO cheeses representing the four blue-veined cheese categories produced in the Massif Central (Fourme d'Ambert, Fourme de Montbrison, Bleu d'Auvergne and Bleu des Causses) of blue cheeses. At the same time, physicochemical parameters were measured in these cheeses. The relationship between these two sets of data was investigated. Four types of blue-veined cheeses displayed significantly different behaviour after heating and it is possible to discriminate these cheese categories through specific sensory attributes. Fourme d'Ambert and Bleu d'Auvergne exhibited useful culinary properties: they presented good meltability, stretchability and a weak oiling-off. However, basic tastes (salty, bitter and sour) are also sensory attributes which can distinguish heated blue cheeses. The relationship between sensory and physicochemical data indicated correlation suggesting that some of these sensory properties can be explained by certain physicochemical parameters of heated cheeses.

**Keywords:** heating, PDO blue cheese, sensory and physicochemical analysis, culinary properties

## 1. Introduction

France is one of the biggest producers and consumers of cheeses, including 45 PDO cheeses. For the consumer, this label mainly indicates a quality in relation to a geographical origin, technical know-how, and a typical gustative quality (Cayot 2007). In 2012, the tonnage of French PDO cheeses amounted to 190,800 tons but the marketed volumes varied according to cheeses. Hard pressed PDO cheeses (32.1%) and semi-hard PDO cheeses (29.8%) are the most widely sold, while blue-veined cheeses represent 15.4% of the marketed volumes. In France, cheeses are usually consumed at the end of a meal but for some time a new trend has emerged: cheeses are more and more used in culinary preparations, both hot (pizza, gratin, sauce) and cold (sandwiches, salads), and thus have become “cheese ingredients” (Lucey 2008). Given these changes in consumer behaviour, certain functional properties of cheese are sought to cope with industrial constraints and new consumer demand. Cheeses used in hot preparations actually acquire functional properties after heating, which mainly modify their texture and appearance. These expected functional properties are stretchability and/or melting which will determine the technological parameters of cheeses. Industrial operators are thus able to modify or to create these different properties required by consumers. With the development of cheese uses in various culinary dishes, numerous studies have been conducted in order to better understand the properties of melted cheeses and their evolution when heated. Many techniques have been used to study these technological properties such as instrumental or empirical methods (Guinee 2000). For example, meltability is the ability of cheese to flow upon heating. Instrumental techniques are usually used to measure this function such as the Arnott test, Schreiber test, Melt profile analysis, etc. (Kapoor and Metzger, 2008). Concerning stretchability, this property is defined as the ability of a cheese to form strings after heating when its subjected to mechanical force (Richoux et al., 2001) and is generally evaluated by imitative tests (fork test) and empirical tests (viscometer fitted with a T-bar) in order to measure apparent viscosity (Fife et al., 1996). The same technological properties are perceived by consumers, and other associated with sensory properties. Apart from texture, consumers perceived others sensory properties such as flavour. Flavour, complex combination of the olfactory, gustatory and trigeminal sensations perceived during tasting (ISO, 2009), is widely recognized as a determinant of overall quality for consumers acceptance. Generally, sensory properties of cheeses are analyzed but flavour is more rarely studied on heated cheeses. In the other hand, just like Mozzarella, Cheddar or Emmental cheeses which have been widely used in culinary preparation

due to their melting property, blue-type cheeses can also be used in the same manner. Although Blue cheeses are growing in popularity, few researches has examined what are the physicochemical or sensory properties of such cheeses. Blue cheeses are generally made from cow's milk, except for Roquefort, made from ewe's milk. These cheeses have a fine rind, ivory-coloured curd, some cracks and a marbling of blue veins in more or less extensive proportions according to the cheese type. This blue veined marbling is mainly due to the development of *Penicillium roqueforti* moulds during the ripening process.

The use of these cheeses as ingredients seems to be an efficient lever to support product innovation and make PDO blue cheeses more attractive. So far, very few authors have studied the performance of heated blue cheeses and the relationship between textural and flavour attributes and physicochemical parameters in heated cheeses (Eberhard et al., 1988). Generally, studies have focused on physicochemical parameters and technological properties in heated cheeses (Rudan et al., 1999; Richoux et al., 2001; Banville et al., 2014). The main objective of this study was, firstly, to characterize sensory properties of four French PDO blue-type cheeses (produced in the Massif Central) in order to identify a typology after heating. The secondary objective was to investigate the relationships between certain sensory attributes and physicochemical parameters in order to understand how physicochemical parameters could influence observed differences on specific sensory properties.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Cheese samples

In order to represent varied Blue cheeses diversity, sixteen blue-veined cheeses were selected to represent the four types of PDO blue cheeses, made in the Massif Central, purchased from local supermarkets and from different companies: Bleu d'Auvergne (BA;  $n = 4$ ); Bleu des Causses (BC;  $n = 4$ ); Fourme d'Ambert (FA;  $n = 4$ ) and Fourme de Montbrison (FM;  $n = 4$ ). were used to make the analysis. Blue-type cheeses are divided into two categories: "Blue category" (Bleu d'Auvergne and Bleu des Causses) and "Fourme category" (Fourme d'Ambert and Fourme de Montbrison). They were made from cow's milk, either raw, thermised or pasteurised milk, by various producers with different maturation times. The cheese categories and the main technological characteristics are presented in Table 1. All the cheeses were frozen at  $-20^{\circ}\text{C}$  then defrosted at  $4^{\circ}\text{C}$  before being used in the sensory and physicochemical analyses.

Table 1: Description of evaluated cheeses

Cheese category	Code	Milk Treatment
<b>Fourme d'Ambert: FA</b>	FA-001	raw
	FA-002	pasteurized
	FA-012	raw
	FA-013	pasteurized
<b>Bleu d'Auvergne: BA</b>	BA-003	pasteurized
	BA-004	raw
	BA-006	pasteurized
	BA-011	pasteurized
<b>Bleu des Causses: BC</b>	BC-008	thermised
	BC-009	pasteurized
	BC-010	thermised
	BC-014	thermised
<b>Fourme de Montbrison: FM</b>	FM_019	thermised
	FM-020	pasteurized
	FM-021	raw
	FM-022	raw

## 2.2 Physicochemical analysis

The physicochemical composition of the cheeses was analysed in compliance with ISO standards. All the measurements were made in triplicate. The pH was measured using a pH-meter CG 840 (Schott, Mainz, Germany) equipped with a glass electrode. Dry matter (DM) was analysed by desiccation in compliance with the standard NF ISO 5534 (ISO, 2004). Total nitrogen (TN) and soluble nitrogen (WSN) were determined by the Kjeldahl method, in compliance with the standards NF ISO 8968-1 (ISO, 2014). Total Nitrogen content was converted in protein by a factor of 6.38. Fat content was measured gravimetrically according to the standard ISO 1211. Ratio Fat in Dry Matter (FDM) was calculated. Chloride content was evaluated by potentiometry in compliance with the standard NF ISO 5943 (ISO, 2007b). Chloride content was then converted into percent salt (sodium chloride). Ratio Salt in moisture was calculated (Salt/M). Minerals (calcium, sodium and magnesium) were assayed by atomic absorption spectrophotometer AA 240 FS (Varian, Les Ulis, France) in compliance with the standard NF ISO 8070 (ISO, 2007a), with prior incineration of the cheese samples (1g) at 550°C during 6h. Inorganic ions (phosphorus) were

assayed by spectrophotometry with an Anthelie Advanced spectrophotometer (Secoman, Alès, France).

### *2.3 Descriptive analysis*

A panel of 11 assessors, from the external panel of VetAgro Sup's Engineer School, were selected and trained according to guidelines in ISO 8586-1. To describe cheeses, a sensory profile method was applied according to the recommendations of ISO standard 13299 (ISO, 2003). Before the evaluation sessions, training lasting 20 hours was performed. During the training, participants generated many attributes to describe blue cheeses. After a statistical analysis, 23 attributes were finally selected. Each attribute was associated with a definition, illustrated by food references and methods of assessment. The list of sensory attributes of the cheeses (table 2) was divided into 4 items: appearance, odour, flavours and texture. The performance of the panel was validated during the training in order to control repeatability, its capacity of discrimination and its consensus.

A within-product variability exists, due to blue veined heterogeneity distribution. For this reason, the rind and the outer parts (3 cm) were removed. Only the cheese core, blue and white parts, were tasted. The cheese samples were cut into cubes (2 cm edge). Several portions were placed (samples weighing 20 g) in blinded aluminium dishes coded with three-digit numbers. The dishes were then placed in a dry heat oven Self Cooking Center (Frima, Heerbrugg, Switzerland) at 200 °C for 4 minutes. This temperature was chosen in accordance with the conditions recommended to consumers for heating dishes and due to the fact that cheeses were totally melted (T P Guinee et al., 2000). After heating, the samples were presented to the panel. The cheese samples were evaluated at  $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  by the panellists. First, appearance attributes were evaluated followed by odour then flavour and texture. During six 2-hr evaluation sessions, the panellists evaluated 8 cheeses per session. Ten-centimetre unstructured line scales were used to evaluate each attribute, anchored from 0 (no perception) to 10 (very intense perception). In both conditions, the samples were presented in a monadic sequence and distributed according to a Williams Latin square designed to take into account the first effect of order and carry-over (MacFie et al., 1989). Between each sample, panellists were asked to rinse their mouth successively with unsalted crackers and tepid water to remove fatty residual. All the samples were tested in triplicate. Profile measurements were carried out in sensory computerized booths according to ISO standard 8589 (ISO, 2007c) whereby the laboratory temperature was controlled at  $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Data were collected with the Tastel software® (version 2011; ABT Informatique, Rouvroy-sur-Marne, France).

Table 2: Sensory attributes and definition for the evaluation of heated cheeses

Attributes	Definition
APPEARANCE ATTRIBUTES	
Colour	Prevailing color of the cheese after heating
Quantity Blue veined	The amount of lumps of mould remaining after heating at the cheese surface
Stretchability	The ability of the cheese to form strings after heating
Meltability	The ability of a cheese to melt and spread in an even homogeneous mass
Oilling off	The quantity of oil released at the surface after heating
FLAVOUR ATTRIBUTES	
Intensity odour	A general term used to describe the global intensity developed by the cheese
Butter_O	Odour which is illustrated by butter after cooking
Mouldy_O	Odour associated with mold growth
Ammonia_O	Odour associated with cheeses like brie or camembert
Salt	Basic taste which is illustrated by sodium chloride. Sodium chloride 1 to 3 g / L in mineral water
Sour	Basic taste which is illustrated by lactic acid. Lactic solutions 0.84 to 1.23 g / L in mineral water
Bitter	Basic taste which is illustrated by leucine. Leucine solution 1.8 to 5 g / L in mineral water
Aroma intensity	A general term used to describe the global intensity developed by the cheese during the mastication
Oily_A	Aromatics associated with sunflower oil or cooked butter
Milky_A	Aromatics associated with dairy products like yoghurt.
Mouldy_A	Aromatics which are illustrated by mold growth
Ammonia_A	Aromatics associated with cheeses like camembert or brie
Pungent	Describes a product causing a sharp sensation of the buccal cavity
TEXTURE ATTRIBUTES IN MOUTH	
Rough	Perception of particles in the mouth
Rubbery	Term relating to the elasticity, reflecting the ability of cheese to return to its initial shape after biting
Smooth	Term relating to the viscosity, the degree to which the chewed mass surface is smooth
Oily_M	Perception of fat in the mouth, without exudation after swallowing

## 2.4 Statistical analysis

A two-way mixed-model ANOVA (product and assessor) with interaction was performed on the sensory data, with assessor as random effect and product as fixed effect, at 95% of confidence level. Fisher's test was used for multiple comparison tests on the product means for each attribute when means were considered different ( $P < 0.05$ ). A Principal Component Analysis (PCA) was done on the averaged assessors' sensory profiles data and on 16 cheeses. A hierarchical cluster analysis (Ward method with Euclidean distance) was carried out on the first three components of PCA in order to obtain homogeneous groups of cheeses. A one-way analysis of variance (product) was performed on the physicochemical data. The means were compared using Fisher's test at a level of 5% for each parameter. A PCA was performed on sensory attributes and physicochemical parameters. Pearson's correlation at the 5% significance level ( $p < 0.05$ ) was used to explain the relationship between physicochemical parameters and specific sensory attributes (meltability, stretchability, oiling-off, basic tastes, pungent, mouldy and ammoniac aroma). All the analyses were performed with XLSTAT® software version 2011 (Addinsoft, Paris, France).

## 3 Results and Discussion

### 3.1 Physicochemical profile of blue cheese categories

Table 3 shows the mean value and standard deviation for each observed parameter. The analysis of variance carried out on these data showed significant differences between the four cheese categories for the following parameters: soluble nitrogen, calcium, sodium, salt, Salt/M, fat and FDM contents and pH. These results were in agreement with those observed in other blue cheese studies (Prieto et al. 2000). Regarding pH values, a significant difference was noted between FM and BA and BC cheeses Blue categories. pH values ranged from 5.6 to 6.1 where FM presented the lowest pH and BC and BA the highest. These differences may be due to proteolysis phenomena with the formation of amines and ammonia (McSweeney, 2004). These differences can also be explained by the proteolysis level. This finding was confirmed by the WSN/TN ratio, which is considered as being a ripening index. The higher the ratio, the more advanced the degree of proteolysis in the cheese. The BA cheeses showed the highest content while FM presented the lowest value. These values were similar to those described by Jacquot et al. (Jacquot et al., 2014) in the same French blue cheeses but far lower than those found in Gamonedo cheeses (González de Llano et al., 1992) or in Gorgonzola cheeses (Gobbetti et al. 1998) between 30 and 60 days of



ripening. Among the three minerals analysed (Na, Ca and P), two were significantly different, namely Ca and Na. On the one hand, the quantity of Ca ranged from 445.9 to 595 mg/100 g of cheese. FM presented the highest Ca content, BA the lowest. The mineral content depends on the cheese making process and is determined by the quantity of calcium phosphate lost from the curd, which is related to the pH (Lawrence et al. 1984). Sodium content ranged from 700 to 1079 mg/100 g of cheese. FM showed the lowest content, BC the highest (difference of 35%) though without significant differences with BA and FA. As with the Na<sup>+</sup> ion, sodium chloride content was significantly different between the different cheese types. It ranged from 1.9% to 3.1%. BC and FA displayed a high content, respectively 3.1% and 3.0% though without significant differences with BC and FA, whereas BA cheeses showed an intermediate content of 2.6%. FM cheeses presented a low content of 1.9%. This can be explained by the salting method used during the cheese making process as suggested by Jacquot et al. (2014). FM is salted by adding salt to the curd while the others are salted with dry salt on the surface or brine. Prieto et al. (2000) have shown that the salt content of Spanish blue-type cheeses changes after the salting stage and then remains stable during maturing. They found values of between 2.5g/100 g (30 days of ripening) and 3.3g/100 g (150 days of ripening), which are equivalent to those found in our “Fourme and Blue categories”. FM cheese was apart from the other three categories. This difference can be explained by divergent practises. Many differences exist such as milk homogenization, strains used or the ripening time. These findings are similar to those observed by Jacquot et al. (2014).

Chapitre 4 : Partie. Typologie de la diversité sensorielle et caractérisation physico-chimique des quatre catégories de fromages à pâte persillée AOP à froid et à chaud

Table 3: Mean and standard deviation of physicochemical parameters for each category of blue-veined cheeses

Physicochemical parameters	BA	BC	FA	FM
<b>Dry matter (%)</b>	54.6 ± 0.1	55.3 ± 0.1	54.0 ± 0.1	54.64 ± 0.1
<b>Fat (%)</b>	30.6 ± 0.3	31.2 ± 0.2	28.7 ± 0.3	29.23 ± 0.2
<b>FDM (%)</b>	56.1 ± 2.8	56.5 ± 1.7	53.3 ± 1.5	53.49 ± 131.0
<b>Na (mg/100g)</b>	862.4 ± 40.0 <sup>ab</sup>	1079.1 ± 37.4 <sup>a</sup>	1026.7 ± 30.4 <sup>a</sup>	700.42 ± 54.0 <sup>b</sup>
<b>Ca (mg/100g)</b>	445.9 ± 15.4 <sup>b</sup>	498.9 ± 6.5 <sup>b</sup>	455.47 ± 6.5 <sup>b</sup>	594.95 ± 15.3 <sup>a</sup>
<b>P (mg/100g)</b>	374.3 ± 111.9	408.5 ± 112.3	365.74 ± 222.8	405.19 ± 195.7
<b>pH</b>	6.0 ± 0.2 <sup>a</sup>	6.1 ± 0.0 <sup>a</sup>	5.82 ± 0.08 <sup>ab</sup>	5.58 ± 0.0 <sup>b</sup>
<b>Salt (%)</b>	2.6 ± 0.0 <sup>a</sup>	3.1 ± 0.1 <sup>a</sup>	3.02 ± 0.0 <sup>a</sup>	1.95 ± 0.0 <sup>b</sup>
<b>Salt/M</b>	4.8 ± 1.2 <sup>ab</sup>	5.6 ± 0.8 <sup>a</sup>	5.60 ± 0.1 <sup>a</sup>	3.50 ± 0.4 <sup>b</sup>
<b>Proteins</b>	19.4 ± 0.9	20.0 ± 0.4	19.94 ± 0.7	20.65 ± 0.5
<b>WSN (%)</b>	2.0 ± 0.0 <sup>a</sup>	1.7 ± 0.0 <sup>ab</sup>	1.72 ± 0.0 <sup>ab</sup>	1.11 ± 0.0 <sup>b</sup>
<b>WSN/TN(%)</b>	66.9 ± 13.4 <sup>a</sup>	53.7 ± 1.4 <sup>a</sup>	55.12 ± 20.1 <sup>a</sup>	34.25 ± 4.3 <sup>b</sup>

<sup>a, b</sup> Values within a row with different superscript letters are significantly different at  $P < 0.05$ .

The presented values are the means of three replicates

FDM = Fat in Dry Matter; TN = Total Nitrogen; WSN = Water Soluble Nitrogen, Salt/M = Salt in moisture

### 3.2 Sensory profile of four blue cheese categories after heating

#### 3.2.1 Sensory characterization of blue cheeses

Two-way ANOVA (products and assessor) with interaction was applied to the sensory attributes (table 3). The analysis showed a significant product main effect ( $P < 0.05$ ) for all sensory attributes indicating a good discrimination between blue cheeses. In contrast, products\*assessors interactions were significant ( $P < 0.05$ ) for some sensory attributes focused on the flavour attributes. Indeed, in case of Blue cheeses, this interaction may be explained by intra-product variability (blue-veined repartition in the curd) rather than variation assessors. The sensory differences between products were analyzed regarding the significant differences among them (table 3). Bleu d'Auvergne was characterised by a more intense flavour after heating marked by tastes described as very salty (8.3), very sour (6.0), very bitter (5.5), and a strong pungent sensation (6.1). The dominant aromas were those of mould and ammonia. After heating, BA presented the best stretchability and meltability,

with some lumps of mould remaining compact and no surface oil release (oiling-off). In the mouth, they were the least rubbery and were moderately smooth. Bleu des Causses was characterised by a very strong flavour, with very intense tastes such as salty (8.6), bitter (6.4), sour (6.2) and pungent sensation (6.7). It stood out by mouldy aromas. Its texture was stretched and evenly melted with some lumps of blue and little oiling-off. In the mouth it presented a rough oily texture. Fourme d'Ambert was characterised by a moderately intense flavour, perceived as salty, moderately bitter and sour. The main aroma perceived was dairy. Its texture was defined by stretchability and meltability with some lumps of mould remaining. A slight oiling-off occurred at the cheese surface. In the mouth, the cheese was not appreciably rubbery, but homogeneous and not very oily. Fourme de Montbrison stood apart from the other types by its moderately intense aromatic and taste profile. Bitter, sour and salty tastes were not very intense, and the pungent note was not appreciably perceived. On the other hand, its aroma was mostly dairy like that of Fourme d'Ambert. The sensory properties of Fourme de Montbrison after heating were also different from the other cheese types. This cheese presented the lowest meltability and the lowest stretchability, but yielded a very large amount of oil at the cheese surface. In the mouth, this Fourme stood out by its rough, very rubbery texture and moderate oiliness. This characterisation after heating revealed pronounced differences between the four Blue cheese types. Sensory method enabled to identify textural properties which are similar to technological properties describing Cheddar, Raclette or Mozzarella after heating (Fife et al. 1996; Richoux et al. 2001). Indeed, fundamental criteria as stretchability, meltability or oiling-off were identified on Blue cheeses. Other technological properties are studied in the literature such as browning but the blue cheeses studied did not brown when heated. This is probably due to the disappearance of lactose, digested during the growth of the lactic bacterial flora (Prieto et al. 2000). This sensory approach also quantified other textural attributes as smooth and rough and allowed to provide additional elements concerning flavour of cheeses after heating which aren't easily measured by instrumental method in the case of heated cheeses.

Chapitre 4 : Partie. Typologie de la diversité sensorielle et caractérisation physico-chimique des quatre catégories de fromages à pâte persillée AOP à froid et à chaud

Table 4: Two-way ANOVA with interaction from sensory profile (F ratio values) and mean values ( $\pm$  standard deviation) associated Fisher's significant differences for each category of cheeses

Category	F <sub>product</sub>	F <sub>product * Assessor</sub>	BA	BC	FA	FM
<b>Colour</b>	33.01 *	2.95 *	7.2 $\pm$ 1.3 <sup>b</sup>	8.6 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	5.2 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>	4.7 $\pm$ 0.5 <sup>d</sup>
<b>Quantity blue veined</b>	10.88 *	0.83	4.1 $\pm$ 2.2 <sup>a</sup>	5.2 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	3.7 $\pm$ 2.1 <sup>c</sup>	4.6 $\pm$ 1.1 <sup>ab</sup>
<b>Stretchability</b>	29.01 *	1.11	5.1 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	5.2 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	4.9 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	3.0 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>
<b>Meltability</b>	25.89 *	1.02	3.4 $\pm$ 1.0 <sup>a</sup>	3.3 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	3.8 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	1.7 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>
<b>Oiling-off</b>	193.17*	0.97	0.7 $\pm$ 0.2 <sup>c</sup>	0.5 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>	2.9 $\pm$ 1.6 <sup>b</sup>	6.8 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>
<b>Intensity_O</b>	24.91 *	0.82	6.3 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	7.0 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	5.8 $\pm$ 0.2 <sup>c</sup>	6.1 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>
<b>Butter-O</b>	4.77 *	1.42	2.9 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	3.6 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	2.7 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>	3.6 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>
<b>Mouldy-O</b>	5.72 *	2.33 *	1.6 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	1.9 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	1.0 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	0.8 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>
<b>Ammonia-O</b>	13.17 *	1.91 *	1.8 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	2.8 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	0.9 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>	1.1 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>
<b>Bitter</b>	45.39 *	1.40	5.5 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	6.4 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	4.4 $\pm$ 0.6 <sup>c</sup>	2.9 $\pm$ 0.6 <sup>d</sup>
<b>Salt</b>	34.46 *	3.01 *	8.3 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	8.6 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	7.4 $\pm$ 0.8 <sup>b</sup>	5.8 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>
<b>Sour</b>	16.84 *	3.87 *	6.0 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	6.2 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	4.5 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>	3.3 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>
<b>Intensity-A</b>	22.13 *	2.06 *	7.2 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	7.6 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	6.2 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>	6.0 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>
<b>Oily-A</b>	4.78 *	1.53 *	4.1 $\pm$ 1.0 <sup>b</sup>	4.7 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	4.0 $\pm$ 1.2 <sup>b</sup>	5.1 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>
<b>Milky-A</b>	7.31 *	3.05 *	2.7 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	2.7 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	3.9 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	4.2 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
<b>Butter-A</b>	10.10 *	3.12 *	1.9 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	1.9 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	0.7 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	0.6 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>
<b>Mouldy-A</b>	29.29 *	1.4 *	3.9 $\pm$ 0.9 <sup>b</sup>	4.5 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	2.2 $\pm$ 0.6 <sup>c</sup>	1.6 $\pm$ 0.7 <sup>d</sup>
<b>Ammonia-A</b>	43.32 *	1.80 *	7.2 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	7.5 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	5.9 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	4.9 $\pm$ 0.6 <sup>c</sup>
<b>Pungent</b>			6.1 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	6.7 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	3.9 $\pm$ 1.2 <sup>b</sup>	2.3 $\pm$ 0.6 <sup>c</sup>
<b>Rough</b>	37.13 *	2.53 *	4.9 $\pm$ 0.9 <sup>c</sup>	5.4 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	2.7 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	1.1 $\pm$ 0.4 <sup>c</sup>
<b>Rubbery</b>	194.99 *	1.05 *	0.6 $\pm$ 0.2 <sup>c</sup>	0.3 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	2.5 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	6.3 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>
<b>Smooth</b>	3.42 *	4.87 *	4.3 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	3.9 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	4.5 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	2.6 $\pm$ 1.7 <sup>b</sup>
<b>Oily_Mouth</b>	7.15 *	1.64 *	4.4 $\pm$ 1.7 <sup>bc</sup>	5.6 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	3.8 $\pm$ 2.1 <sup>c</sup>	4.9 $\pm$ 1.0 <sup>b</sup>

\*Significant ( $\alpha=5\%$ )

Fisher-test ( $\alpha=5\%$ ) Values within a row with different superscript letters are significantly different at  $P < 0.05$

(FM = Fourme d'Ambert; FA = Fourme d'Ambert; BC = Bleu des Causses; BA = Bleu d'Auvergne) ; O = Odour, A = Aroma

### 3.2.2 Sensory typology of each category of Blue cheeses

A HAC performed was used to identify homogeneous group on basis of sensory attributes. The clustering identified three cheese clusters (figure 1). The first cluster C1 (n = 6) gathered all the BC cheeses and two BA cheeses. The second cluster C2 (n = 6) contained all the FA cheeses and two BA cheeses. The FM category formed the third cluster C3 (n = 4). Sensory classification is not similar in relation to the cheese category. A sensory diversity of cheeses within their cheese categories such as BA cheeses can be observed. This sensory diversity may be linked to the milk

treatment or the ripening time. Indeed, two BA cheeses (made from pasteurized milk) were included in the FA cluster.

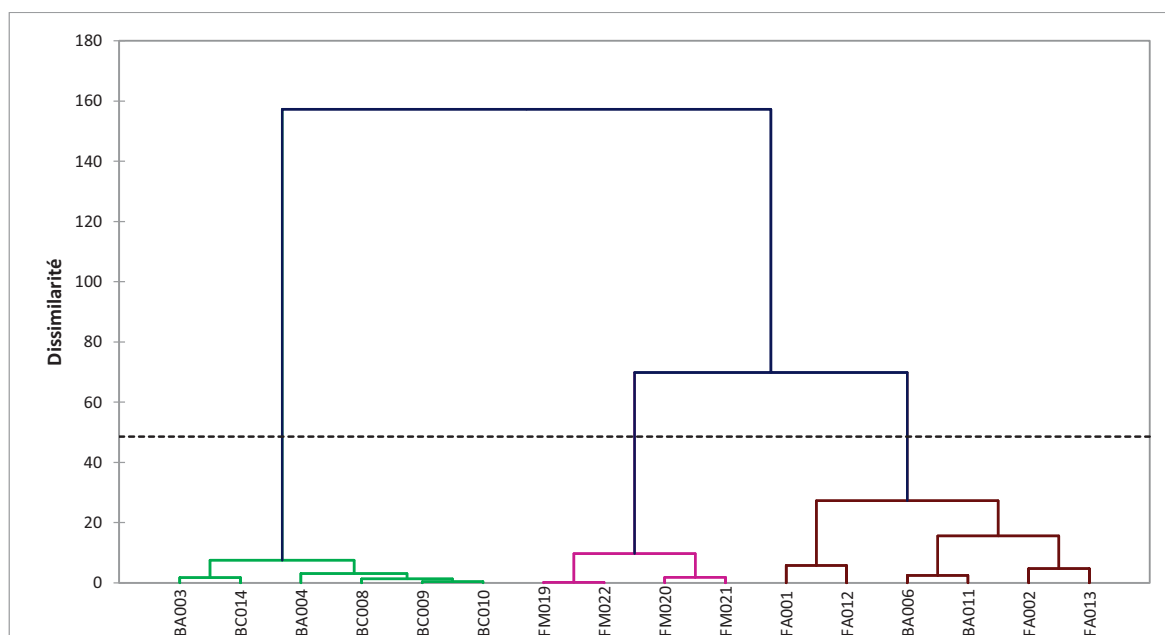


Figure 1: Dendrogram derived from Hierarchical Classification Ascendant, performed on the first three components of Principal Component Analysis, obtained from sensory data. The dashed line shows the level of truncation

To visualize the position of three cheese clusters, a PCA was applied on the sensory data. The two first principal components from PCA explained 80% of totale variance (figure 2). These results showed that cheese making practises in Blue-veined cheeses affects sensory properties in particularly for FM cheeses. The first component was mainly related to cheese flavour, appearance and texture attributes. In the positive part of this dimension, BC cheeses and two BA cheeses (C1) were opposed to FM cheeses (C3). Cluster C1 had a good stretchability and a good meltability compared with cluster C3. In addition, cluster 3 was characterised by a high oiling-off compared with cluster 1. This variable is the most important for the technological applications of cheeses: moderate oiling off gives a shiny appearance to melted cheeses, which for the consumer is a quality, while excessive oiling off is considered as an unacceptable defect (Kindstedt and Rippe, 1990; Rowney et al., 2003). Cluster C1 was characterized by stronger tastes and more particular, salty and bitter tastes are dominant. Concerning aromatic perception, ammoniac, mouldy and butter aroma are identified. (Koppel and Chambers, 2012) observed the same characteristics in other blue cheeses. In opposite, FM cheeses presented a weak flavour profile. These large differences in taste might originate from *Penicillium roqueforti* strains used in cheese making or might be caused by heating. Concerning the cheese process, blue cheeses present strong proteolytic

and lipolytic activities compared to the other varieties, according to the strains used (Larsen et al., 1998). These mould activities have consequences on the texture of the cheese but also on the development of flavour. In the mouth, these cheeses have a pronounced "blue or mouldy" flavour and can also stand out by their bitter and salty tastes (Sablé and Cottenceau 1999; Rétiveau et al., 2005). Heating temperature and duration generally have an impact on the flavour properties of foods. According to the literature (Delwiche 2004), some tastes or aromas are intensified when the temperature of the food is raised. A temperature rise probably affects the solubility of some soluble constituents and the volatility of flavour compounds. Indeed, flavour compounds become more volatile resulting in a high concentrations of these compounds that more easily reach the olfactory receptors. The cheese presents a lower viscosity at high temperature, thereby facilitating the release of aromatic compounds in the matrix. Low viscosity combined with high temperature would allow taste compounds to be diluted in saliva and thereby reach the taste receptors (Engelen et al. 2003; Tournier et al. 2007). However, flavour is a complex perception, involving many processes such as physicochemical, psychophysics or food oral processing.

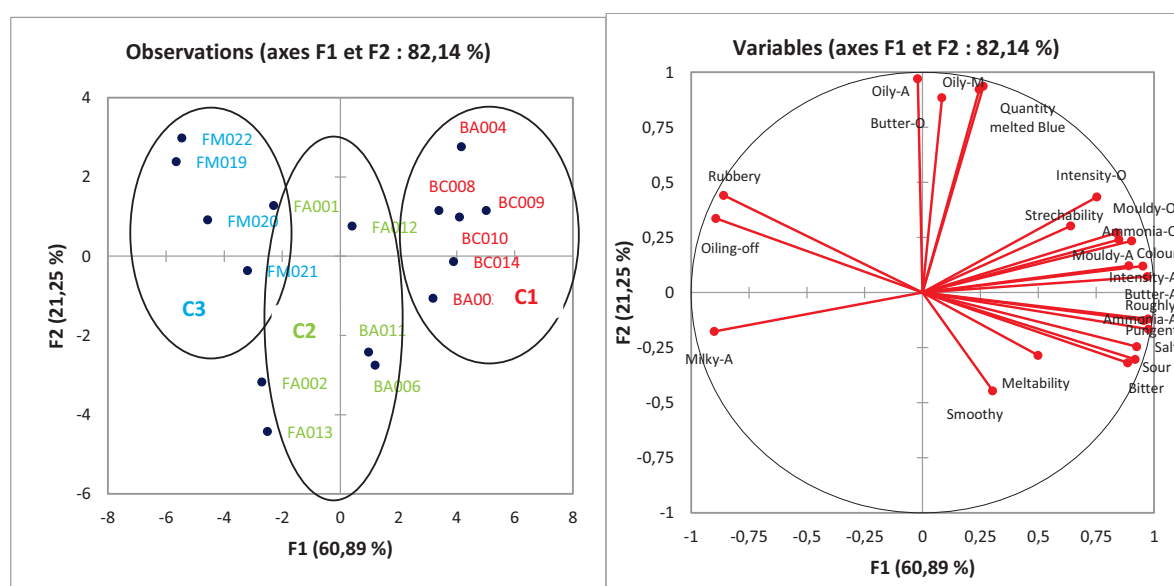


Figure 2: Correlation circle (loading) and samples plot derived from Principal Component Analysis performed on sensory data; (FM = Fourme de Montbrison; FA = Fourme d'Ambert; BC = Bleu des Causses; BA = Bleu d'Auvergne); O = Odour, A = Aroma

Concerning the second component, the main contributions were defined by fat flavour (Oily aroma and butter odour) and texture (oily-M and smoothy). These attributes described in particularly cluster C2 where a large diversity was observed. FA cheeses (FA001 and FA012) were perceived as having more intense butter and oily flavour than other FA and BA cheeses (BA011 and BA006).

An explication of these results is that FA001 and FA012 were made with raw milk. Globally, this cluster had a moderate flavour profile in comparison with other clusters.

### 3.3 Relationship between physicochemical and specific sensory properties

In spite of the fact that all sensory attributes were discriminant, only some were taken into consideration. Indeed, some attributes such as, meltability, stretchability and oiling-off are the specific attributes which characterized heated cheeses and associated to functional properties. In addition, salty, bitter and sour tastes, pungent sensation, ammonia and mouldy aroma are also important flavour attributes which describe heated cheeses. Consequently, a relationship between these quoted sensory properties and physicochemical parameters were observed.

A PCA was performed on sensory attributes and physicochemical compounds (figure 3). Meltability, stretchability, oiling-off, sour, bitter, salt, pungent and mouldy aroma were considered as active variables and other sensory attributes as supplementary variables. The first two axes represent 68% of total variance. This analysis demonstrated that bitter, salty, sour, and pungent, aroma, melting, stretchability and oiling-off were correlated with some physicochemical parameters.

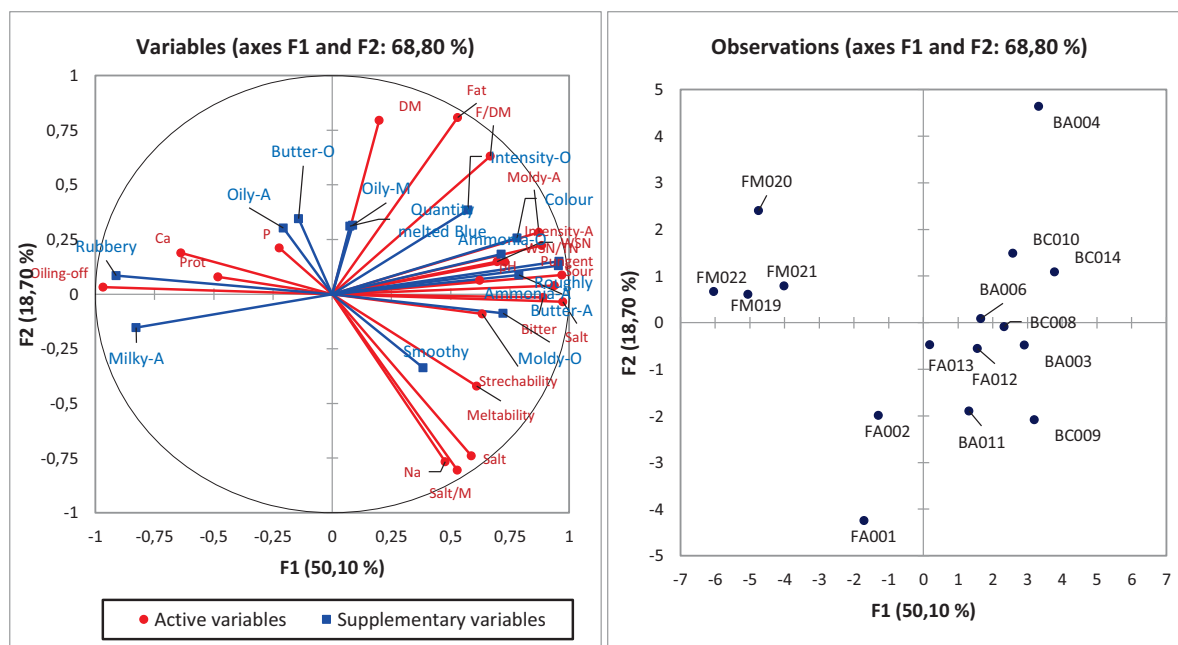


Figure 3: Principal Component Analysis performed on sensory attributes and physicochemical parameters: plot of principal axes F1 – F2. Red attributes = active variables; Blue attributes = supplementary variables (FM = Fourme de Montbrison; FA = Fourme d'Ambert; BC = Bleu des Causses; BA = Bleu d'Auvergne) a) Representation of cheeses; b) Correlation circle



Meltability was correlated with Salt/M and salt. The addition of salt in cheese can affect the organization of proteins in the cheese matrix. According to Paulson (2011) salted cheeses have a more hydrated protein matrix which improves meltability. The work by Reparet (2000) carried out on model cheeses showed correlations between melting, fat content, dry extract and WSN/TN ratio. This author highlighted that protein and maturation time affects meltability. In our study, FM cheeses presented a lower WSN/TN ratio than the other cheeses, indicating that the maturation degree of this product was not far advanced, which could explain its low meltability. Conversely, when the proteolysis is advanced, the meltability quality is enhanced (Everett and Auty, 2008; Ruegg et al., 2007). Generally, meltability measured by instrumental method is linked with calcium content. Our study did not enable to relate meltability to this physicochemical parameter. It is known that calcium is dissociated from casein particles when the pH falls during cheese making and that the result of this loss of total calcium softens the cheese and increases its meltability when heated (Lucey 1993). The chelation of calcium causes better solubilisation of proteins, and thereby increases water-protein interactions, which may explain the relation between low calcium content and a good spreading quality. FM was the cheese that contained the highest total calcium content (594.6 mg/100 g) and presented the lowest meltability.

In the other hand, stretchability is correlated with pH. Reparet (2000) studied functionality properties of different cheeses and highlighted that stretchability seems to be linked to pH. In our case, the cheeses showing the best stretchability were BC, BA and FA cheeses (higher pH) whereas FM cheeses had a very low stretchability (lower pH). Secondly, other publications also show that stretchability decreases during ripening when proteins are solubilised (Sadat-Mekmene et al., 2013) and when protein content increases. In our study, we observed a negative significant relation with protein content and no relation with index of proteolysis (WSN/TN). The discrepancies between these results and those of the literature may be explained by the cheese types studied. Indeed, the quantity and size of blue veins can disrupted the stretchability as showed on the blue veins feature by Jacquot et al. (2014). Guinee (2002) identified differences in the stretchability of different cheese varieties. Moreover, stretching quality increases according to the nature of the protein (mainly caseins) but also the peptide composition of this nitrogen fraction.

Concerning the oiling-off, this attribute was positively correlated with Ca. When oiling-off was measured with instrumental methods, a positive correlation with Fat was find. Conversely, in our study, a negative correlation was observed. Generally, free fat increases when fat content increases



and this phenomenon can be reduced using homogenized cream. Indeed, homogenization of the cream produces small fat globules that are more evenly distributed in the protein matrix. Fat homogenization is forbidden in the cheese making process of FM cheese this may account for the significant fat release. Instrumental and sensory assessment methods are different between methods, could explain a difference between observed results and those identified in literature. The “oiling-off” parameter is the quantity of oil released at the surface of the cheese after heating and is generally measured empirically using the Schreiber test (Breene et al. 1964). Concerning sensory perception, this term is evaluated as an “appearance attribute” characterised by the amount of oil released at the surface, giving shine to the cheese.

Salty taste is generally linked to the quantity of  $\text{Na}^+$  ions, but other cations can also play a role in the perception of saltiness, such as calcium or magnesium (McSweeney 1997). The relationships between salty taste and salt content were similar to those reported by Lawlor et al. (2003) on Bleu d’Auvergne. The positive correlation between salty taste and the level of WSN and WSN/TN may explain the fact that increased breakdown of the protein matrix may have contributed to the salty perception, increasing the salt release rate and making it available to receptors. Phan et al. (2008) show that sodium release is not necessarily linked to salt perception for model cheeses presenting different textures. The release of  $\text{Na}^+$  ions during mastication is influenced mainly by the structure of the matrix and the composition, increased in particular by water, whereas salt perception is limited by the presence of fat. The fat may have a masking effect on saltiness (Engel et al., 2001). Bitter taste is an interesting attribute to observe because a high intensity perceived by consumer may be considered as a defect (Lemieux and Simard 1991). Bitter taste and pH was correlated. A pH increase modifies the solubilisation state of different minerals, including calcium. Given the possible role of calcium, in particular in salty and bitter tastes, this may explain the role of pH in increased bitterness. Bitter taste and WSN was also emphasized. Many studies have also demonstrated that the development of bitterness is linked to proteolysis and the hydrolysed products formed. Indeed, amino acids and peptides play an essential role in cheese bitterness (Molimard et al. 1994; Berdague and Duboz 1988).

Bleu d’Auvergne and Bleu des Causses were characterised by the high intensity of sourness compared to Fourme d’Ambert and Fourme de Montbrison. This perception can be explained by the pH of cheeses because pH generally plays a preponderant role in sourness (McSweeney and Sousa 2000). In our case, a positive (though non-significant) was noted with pH and the sour taste.

However, other studies show that sourness cannot be linked solely to pH, and that the concentration of  $\text{H}_3\text{O}^+$  will not suffice to account for sourness. Trends in sourness could be explained by the migration of certain sapid compounds such as salts, which migrate according to the pH. In addition, interactions between tastes can also modify perceptions. Indeed, NaCl concentration plays a fundamental role in the sour taste. Breslin (1996) found, in a binary sour-salt mixture at moderate concentrations, that the two components had mutually enhancing effects. Nevertheless, correlation between physicochemical and sensory attributes were weak and would suggest that this perception was linked to other compounds like peptide, amino acid composition or volatile fatty acids.

Pungency is correlated with fat and soluble nitrogen. The pungent sensation is generally related to the quantity of free fatty acids (FFA), which are important flavour compounds in blue-veined cheeses. Woo et al. (1984) showed that blue-veined cheeses had extremely high FFA concentrations and strong flavours. Lawlor et al. (2003) observed a high presence of butanoic acid and hexanoic acid (FFA), the concentrations of which were correlated with “mouldy flavour”. In our study, this attribute was positively correlated with Fat and FDM, in agreement with the results observed by Lawlor et al. (2001). The breakdown of fat by lipolysis results in the formation of free fatty acids (Gallois and Langlois 1990; Molimard and Spinnler 1996). It is known that 2-methylketone are dominant in mould-ripened cheeses and contribute to a “blue or mouldy aroma”. In addition, according to strain type or proteolytic activity of the strain, “mouldy flavour” intensity can be modified.

Results indicated that cheese flavour is multi-dimensional phenomenon resulting from complex interactions between physicochemical compounds, structure of matrix and sensory perception (interaction taste / taste or taste / texture). In order to better explain the flavour perception in heated cheeses, it would be interesting to complete our study analysing Free Fatty Acids, volatile compounds and free amino acids.

#### 4 Conclusion

This original work has characterised and differentiated the sensory properties of four PDO blue-type cheeses after heating using a sensory approach. Appearance attributes, which can be assimilated with technological properties such as meltability, stretchability or oiling-off, were used to characterise blue cheeses. The first main results highlighted the sensory diversity of PDO blue-type cheeses after heating. Certain cheeses presented a good meltability and stretchability and

released little oil. Aroma (mouldy, butter, milky, ammoniac) and salty and bitter tastes were also good indicators to characterise blue cheeses after heating.

Sensory method seems to be an efficient tool to describe and control heating properties of cheeses. It allowed to provide a complete and more detailed profile (texture and flavour) on heating properties in comparison with instrumental methods, which only explain technological properties of cheeses. These results seem very interesting for the PDO cheeses supply chains especially to promote their use as “cheese ingredients” in culinary preparations.

## References

- Banville V, Morin P, Pouliot Y, et al. (2014) Shreddability of pizza Mozzarella cheese predicted using physicochemical properties. *Journal of dairy science*, Elsevier Ltd, 1–14.
- Berdague L, Grappin R and Duboz G (1988) Affinage et qualité du gruyère de Comté VI . Caractéristiques sensorielles des fromages. *Le Lait*, 68(2), 189–204.
- Breslin PAS (1996) Components of Flavour Interactions among salty , sour and bitter compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 7(96), 390–399.
- Breslin PAS and Beauchamp G. (1995) Suppression of bitterness by sodium: Variation among bitter taste stimuli. *Chem. Senses*, 20(6), 609–623.
- Cayot N (2007) Sensory quality of traditional foods. *Food Chemistry*, 101(1), 154–162.
- Delwiche J (2004) The impact of perceptual interactions on perceived flavor. *Food Quality and Preference*, 15(2), 137–146.
- Eberhard P, Moor U and Ruegg M (1988) Composition and physical properties of Raclette cheese of good and of insufficient melting quality. Raclette cheese from pasteurized milk. *Schweiz. Milchwirt. Forsch.*, 17(1), 47–52.
- Engel E, Tournier C, Salles C, et al. (2001) Evolution of the composition of a selected bitter Camembert cheese during ripening: release and migration of taste-active compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 2940–2947.
- Engel E, Nicklaus S, Salles C, et al. (2002) Relevance of omission tests to determine flavour-active compounds in food : application to cheese taste. *Food Quality and Preference*, 13, 505–513.

- Engelen L, De Wijk R., Prinz J., et al. (2003) The effect of oral and product temperature on the perception of flavor and texture attributes of semi-solids. *Appetite*, 41(3), 273–281.
- Everett DW and Auty MAE (2008) Cheese structure and current methods of analysis. *International Dairy Journal*, 18(7), 759–773.
- Fife R., McMahon D. and Oberg CJ (1996) Functionality of low fat Mozzarella Cheese. *Journal Dairy Science*, 79(11), 1903–1910.
- Gallois A and Langlois D (1990) New results in the volatile odorous compounds of French cheeses. *Lait*, 70, 89–106.
- Gobbetti M, Burzigotti R, Smacchi E, et al. (1998) Microbiology and Biochemistry of Gorgonzola Cheese During Ripening. *International Dairy Journal*, 7(1997), 519–529.
- González de Llano D, Ramos M, Rodriguez A, et al. (1992) Microbiological and physicochemical characteristics of Gamonedo blue cheese during ripening. *International Dairy Journal*, 2, 121–135.
- Guichard E (2002) Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception. *Food reviews International*, 18(1), 49–70.
- Guinee T (2002) The functionality of cheese as an ingredient: a review. *Australian journal of dairy technology*, Dairy Industry Association of Australia, 57(2), 79–91.
- Guinee T, Auty M, Mullins C, et al. (2000) Preliminary observations on effects of fat content and degree of fat emulsification on the structure-functional relationship of cheddar-type cheese. *Journal of Texture Studies*, 31, 645–663.
- Guinee TP, Harrington D, Corcoran MO, et al. (2000) The compositional and functional properties of commercial mozzarella, cheddar and analogue pizza cheeses. *International Journal of Dairy Technology*, 53(2), 51–56.
- ISO (2003) Sensory analysis - Methodology - General guidance for establishing a sensory profile : 13299. Geneva, Switzerland: International Standard Organization.
- ISO (2004) Determination of the total solids content. (Reference method). ISO 5534. Geneva, Switzerland. International Standard Organization.
- ISO (2007a) Determination of calcium, sodium, potassium and magnesium contents. ISO 8070. Geneva, Switzerland. International Standard Organization.
- ISO (2007b) Determination of chloride content. ISO 5943. Geneva, Switzerland. International Standard Organization.

- ISO (2007c) Sensory analysis — General guidance for the design of test rooms. Geneva, Switzerland: International Standard Organization.
- ISO (2009) Sensory analysis — Vocabulary. ISO 5492. Geneva, Switzerland. International Standard Organization.
- ISO (2014) Milk and milk products - Determination of nitrogen content - Part 1: Kjeldahl principle and crude protein calculation.
- Jacquot S, Karoui R, Abbas K, et al. (2014) Potential of multispectral Imager to characterize anisotropic French PDO cheeses: A feasibility study. *International Journal of Food Properties*, Taylor & Francis, 18(1), 213–230.
- Kapoor R and Metzger LE (2008) Process Cheese : Scientific and Technological Aspects — A Review. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 7, 194–214.
- Kebchaoui J (2012) *Pasta filata : mozzarella et pizza cheese - Texturation des pâtes fromagères fromagères*. Techniques. *Dossier de l'Ingénieur*, Paris, France.
- Kindstedt PS and Rippe JK (1990) Rapid quantitative test for free oil (Oiling-Off) in melted Mozzarella cheese. *Journal Dairy Science*, 73, 867–873.
- Koppel K and Chambers DH (2012) Flavor comparison of natural cheeses manufactured in different countries. *Journal of food science*, 77(5), S177–87.
- Larsen MD, Kristiansen KR and Hansen TK (1998) Characterization of the proteolytic activity of starter cultures of *Penicillium roqueforti* for production of blue veined cheeses. *International Journal of Food Microbiology*, 43(3), 215–221.
- Lawlor J Ben, Delahunty CM, Wilkinson MG, et al. (2001) Relationships between the sensory characteristics, neutral volatile composition and gross composition of ten cheese varieties. *Lait*, 81, 487–507.
- Lawlor JB, Delahunty CM, Sheehan J, et al. (2003) Relationships between sensory attributes and the volatile compounds, non-volatile and gross compositional constituents of six blue-type cheeses. *International Dairy Journal*, 13(6), 481–494.
- Lawrence RC, Heap HA and Gilles J (1984) A Controlled approach to cheese technology. *J. Dairy Sci.*, 67(8), 1632–1645.
- Lemieux L and Simard R (1991) Bitter flavour in dairy products. I. A review of the factors likely to influence its development, mainly in cheese manufacture. *Lait*, 71(6), 599–636.

- MacFie H., Bratchell N, Greenhoff K, et al. (1989) Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. *Journal of Sensory Studies*, 4(2), 129–148.
- McSweeney P (2004) Biochemistry of cheese ripening. *International Journal of Dairy Technology*, 57(2-3), 127–144.
- McSweeney PL and Sousa M. (2000) Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review. *Lait*, 80(3), 293–324.
- McSweeney PLH (1997) The flavour of milk and dairy products: III. Cheese: taste. *International Journal*
- Molimard P and Spinnler HE (1996) Review: compounds involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses: origins and properties. *Journal of Dairy Science*.
- Molimard P, Lesschaevé I, Bouvier I, et al. (1994) Amertume et fractions azotées de fromages à pâte molle de type camembert : rôle de l'association de *Penicillium camemberti* avec *Geotrichum candidum*. *Lait*, 74(5), 361–374.
- Phan VA, Yven C, Lawrence G, et al. (2008) In vivo sodium release related to salty perception during eating model cheeses of different textures. *International Dairy Journal*, 18, 956–963.
- Prieto B, Franco I, Fresno JM, et al. (2000) Picon Bejes-Tresviso blue cheese: an overall biochemical survey throughout the ripening process. *International Dairy Journal*, 10, 159–167.
- Reparet J (2000) Les propriétés fonctionnelles évaluées à chaud : des fromages aux imitations fromagères. Thèse de Doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon. France Institut National Agronomique Paris-Grignon: Institut National Agronomique Paris-Grignon.
- Rétiveau A, Chambers DH and Esteve E (2005) Developing a lexicon for the flavor description of French cheeses. *Food Quality and Preference*, 16(6), 517–527.
- Richoux R, Roseta G, Famelart M, et al. (2001) Diversité de quelques propriétés fonctionnelles à chaud de l'Emmental français. *Lait*, 81, 547–559.
- Rowney MK, Roupas P, Hickey MW, et al. (2003) The Effect of compression, stretching, and cooking temperature on free oil formation in Mozzarella curd. *J. Dairy Sci.*, 86(2), 449–456.
- Rowney MK, Roupas P, Hickey MW, et al. (2004) Salt-induced structural changes in 1-day old Mozzarella cheese and the impact upon free oil formation. *International Dairy Journal*, 14, 809–816.
- Rudan MA, Barbano DM, Joseph Yun J, et al. (1999) Effect of fat reduction on chemical composition, proteolysis, functionality, and yield of Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, Elsevier, 82(4), 661–672.

- Ruegg M, Eberhard P, Popplewell L, et al. (2007) Melting properties of cheese. *Bulletin FIL-IDF*, 268, 36–43.
- Sablé S and Cottenceau G (1999) Current knowledge of soft cheeses flavor and related compounds. *Journal of agricultural and food chemistry*, 47(12), 4825–36.
- Sadat-Mekmene L, Richoux R, Aubert-Frogerais L, et al. (2013) Lactobacillus helveticus as a tool to change proteolysis and functionality in Swiss-type cheeses. *Journal of dairy science*, Elsevier, 96(3), 1455–70.
- Sheehan JJ and Guinee TP (2004) Effect of pH and calcium level on the biochemical, textural and functional properties of reduced-fat Mozzarella cheese. *International Dairy Journal*, 14(2), 161–172.
- Tournier C, Sulmont-Rossé C and Guichard E (2007) Flavour perception : aroma , taste and texture interactions. *Food*, 1(2), 246–257.
- Woo A., Kollodge S and Lindsay R. (1984) Quantification of major free fatty acids in several cheese varieties. *Journal of Dairy Science*, 67(4), 874–878.



## **PARTIE 2 : IMPACT DU CHAUFFAGE SUR LES PERCEPTIONS SENSORIELLES ET GUSTATIVES DES FROMAGES ENTIERS ET DES FRACTIONS HYDROSOLUBLES : EVALUATION SENSORIELLE ET CHIMIQUE DE CES FRACTIONS**

### **1.OBJECTIFS**

Cette première étape a permis de réaliser un screening sur les typologies des comportements sensoriels à froid et à chaud de différentes catégories de fromage à pâte persillée. Pour la suite de l'étude, le choix s'est porté sur la Fourme d'Ambert dont les caractéristiques sensorielles à chaud sont centrales par rapport à la famille des fromages à pâte persillée étudiés. Par ailleurs, en termes de retombées professionnelles, ce fromage est actuellement en développement concernant son utilisation culinaire à chaud par les professionnels (Kantar WordPanel 2013). Dans cette deuxième étape, le premier objectif a été d'étudier les modifications induites par le chauffage sur les perceptions sensorielles de la Fourme d'Ambert. D'après Engel et al. (2000a), les composés responsables de la saveur des fromages à pâte molle se retrouvent essentiellement dans la phase soluble. Cependant, Salles (2000) observe des différences selon la technologie fromagère et le type de lait. Aucune étude n'a été menée sur les fromages à pâte persillée. En partant du fait que les constituants qui contribuent à l'expression des saveurs sont présents dans la fraction hydrosoluble des fromages, le deuxième objectif a été d'identifier les conséquences du chauffage sur les propriétés gustatives des fractions solubles et sur la solubilisation de ses constituants.

Dans ce chapitre, deux expérimentations ont été réalisées sur les mêmes échantillons. La première présente l'impact du chauffage sur les propriétés technologiques et sensorielles de la Fourme d'Ambert réalisées sur 3 stades de commercialisation selon deux conditions de température (20°C et 200°C). Une étude descriptive a été menée en réalisant des profils sensoriels sur les fromages pour identifier les différences sensorielles (texture, odeur, saveur) entre les fromages chauffés et non chauffés suivis de la méthode «Dominance Temporelle des Sensations» (DTS) basée uniquement sur les perceptions gustatives afin d'observer la dynamique des perceptions en bouche en complément du profil qui est plus globale et statique. La deuxième expérimentation s'est focalisée sur l'impact du chauffage sur la libération des molécules solubles et leurs conséquences sensorielles. Pour cela, des analyses physico-chimiques et des profils sensoriels basés uniquement sur les perceptions gustatives ont été menés en parallèle sur les fromages entiers à 3 stades de commercialisation et selon 3 conditions de température (20°C, 80°C et 200°C) et sur les fractions solubles issues de ces mêmes fromages. Pour cette deuxième expérimentation, seuls les résultats issus des conditions de température à 20°C et 200°C ont été interprétés.



## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. LES FROMAGES TESTES

Suite à l'étape 1 menée sur différentes catégories de fromages à pâte persillée, la Fourme d'Ambert a été sélectionnée comme fromage modèle. Deux types de fromages ont été étudiés et intitulés SA et SB. Les fromages SA ont été fabriqués à partir de souches *Penicillium roqueforti* ayant une forte activité protéolytique tandis que les fromages SB ont été fabriqués à partir de souches *Penicillium roqueforti* ayant une activité protéolytique modérée. A partir du même lot de fabrication, 36 fromages ont été prélevés par l'entreprise de fabrication (figure 20) et répartis pour les analyses sensorielles et physico-chimiques (expérimentations 1&2). Les fromages sortis de cave ont été conservés à  $1^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  pour être dégustés 4 jours après. Trois fromages ont été dédiés aux analyses physico-chimiques, ils ont été écroutés et découpés en 12 parts. Les différents morceaux des 3 fromages ont été poolés et surgelés à  $-18^{\circ}\text{C}$ .

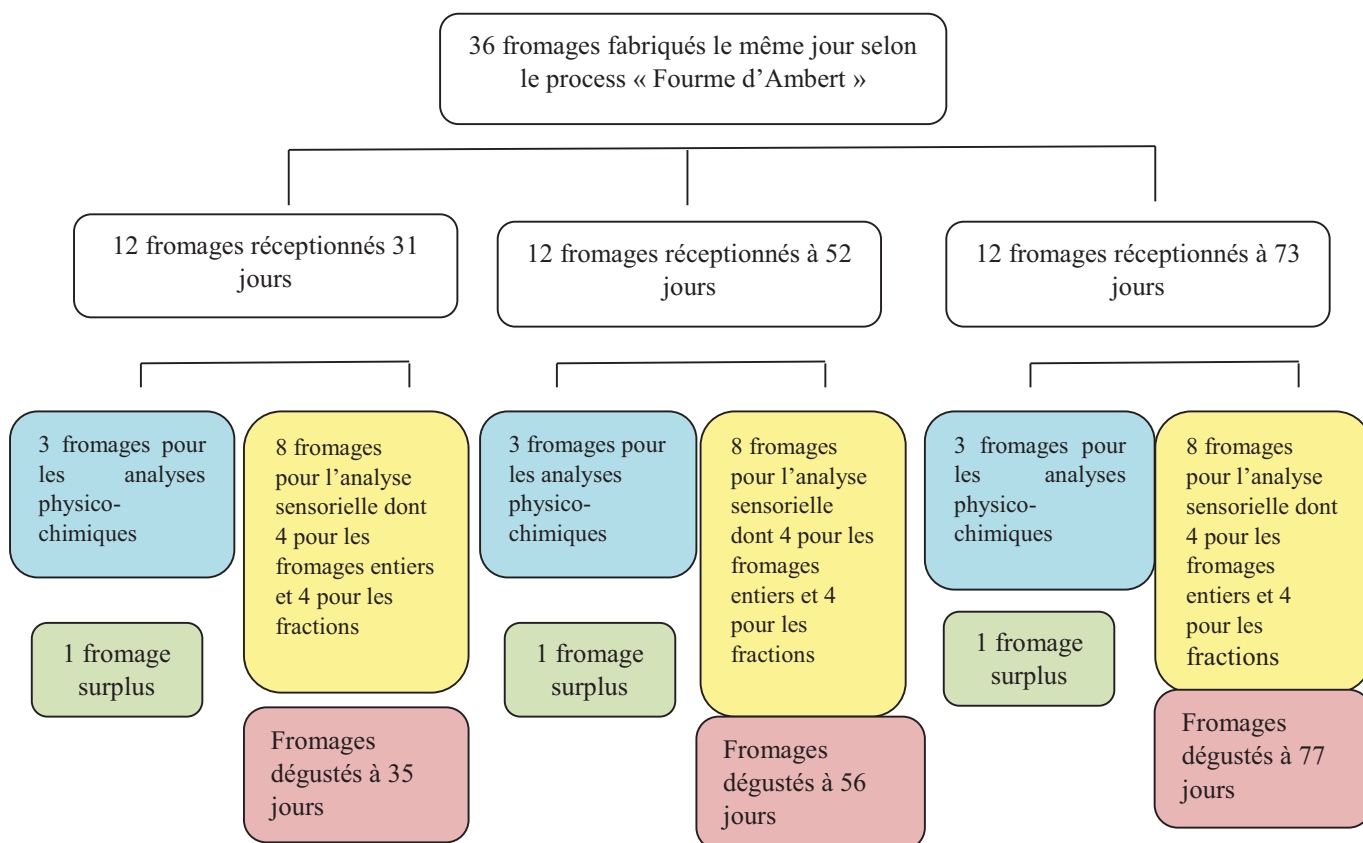


Figure 20 : Echantillonnage des fromages pour la réalisation des analyses chimiques et sensorielles

Deux conditions de température ont été testées (tableau 20):

- **Condition à froid** : les fromages n'ont pas subi de chauffage. Les fromages sont servis et dégustés à température ambiante ( $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ).
- **Condition à chaud** : les fromages sont chauffés au four pendant 4 minutes à  $200^{\circ}\text{C}$  (température de chauffage représentative des usages des consommateurs) et dégustés à  $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  (condition de dégustation des consommateurs en sortie de four).

Tableau 20. Caractéristiques des fromages testés par session.

Sessions	Stade de commercialisation	Type de fromages	Condition de température
S1	35 jours	SA	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$
		SB	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$
S2	56 jours	SA	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$
		SB	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$
S3	77 jours	SA	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$
		SB	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$

## 2.2. EXPERIMENTATION 1 : IMPACT DU CHAUFFAGE SUR LES PERCEPTIONS SENSORIELLES DE LA FOURME D'AMBERT

### 2.2.1. Profil sensoriel

#### 2.2.1.1. Grille sensorielle et panel

La méthode dite du « profil classique » a été réalisée pour décrire et caractériser l'ensemble des fromages selon les recommandations de la norme NF ISO 11035 (AFNOR 1995). Un panel de 10 personnes entraîné à l'espace produit « Fromages à pâte persillée » et ayant participé à l'étape précédente a été recruté. Parmi les 10 sujets entraînés, 9 ont pu être présents. Durant la phase d'entraînement, le panel a d'abord établi une liste de descripteurs pertinents et représentatifs de l'espace produit étudié. Après des étapes de génération, de discussion, de réduction et de tri des descripteurs, 21 descripteurs ont été sélectionnés pour décrire pour les fromages à froid et 19 pour les fromages à chaud (annexe 1). Le panel a ensuite suivi plusieurs séances d'entraînement pour mettre au point un protocole de dégustation adapté aux différents fromages testés selon les conditions de température (froid / chaud). Des définitions et des références, illustrant chaque descripteur, ont été établies et validées avec l'ensemble du panel. Pour éviter les redondances, les protocoles de préparation ne sont pas détaillés dans cette partie mais ils se réfèrent à ceux mentionnés au chapitre 3 – « Considérations méthodologiques ».

### **2.2.1.2. Déroulement des séances**

Les séances d'évaluation ont été réalisées sur 3 semaines selon les différents stades de commercialisation des fromages. Pour chaque stade, deux séances d'évaluation ont été réalisées et 4 fromages ont été évalués par séance. Les échantillons ont été présentés en monadique séquentiel suivant un plan de présentation complet de type carré latin de Williams (MacFie et al. 1989). Pour chaque échantillon, il a été demandé aux sujets d'évaluer l'intensité de chaque descripteur sur une échelle d'intensité linéaire de 0 à 10 (0 = pas de perception ; 10 = perception très forte). Tous les échantillons ont été répétés 3 fois. Entre chaque service, les sujets se sont rincés la bouche avec de l'eau à 32°C et ont mangé un morceau de pomme entre chaque échantillon.

### **2.2.2. Dominance Temporelle des Sensations (DTS)**

Pour la méthode DTS, le même jury que précédemment a été recruté pour participer aux séances. Comme le jury était novice sur ce plan, deux séances d'initiation ont été mises en place afin de leur présenter cette méthode et de les familiariser avec le logiciel de saisie. Par la suite, le jury a suivi 4 séances d'entraînements consacrées à la mise en place d'un protocole gustatif et à la sélection des descripteurs gustatifs les plus pertinents. A la fin de l'entraînement, une liste de 5 descripteurs a été définie : acide, amère, salé, piquant et arôme d'ammoniac ainsi qu'un protocole spécifique pour chaque condition de température. Le protocole a été le suivant : à 0 seconde, un morceau de fromage (cube de 2 cm<sup>3</sup>) a été introduit en bouche et le chronomètre a été déclenché. Le fromage a été mastiqué plusieurs fois avant d'être avalé à 25 secondes (pour le fromage froid) et 20 secondes (pour le fromage chaud). L'évaluation a duré 60 secondes.

Durant l'évaluation et pour chaque stade de commercialisation, les 4 fromages ont été présentés en monadique dans des capsules aluminium. Après avoir mis l'échantillon (dans sa globalité) dans la bouche, le sujet devait démarrer le chronomètre en appuyant sur le bouton « START ». Ensuite, le jury devait suivre les consignes affichées sur l'écran et identifier les descripteurs dominants tout en indiquant leurs intensités. Un attribut dominant est défini comme étant un descripteur qui est le plus marquant à un moment donné mais qui n'a pas forcément la plus forte intensité (Pineau et al. 2009). Entre chaque échantillon, une pause de 2 minutes a été imposée. Durant cette pause, il a été demandé aux sujets de se rincer la bouche avec de l'eau et un morceau de pomme. Trois séances de mesure ont été planifiées par stade de commercialisation afin d'obtenir 3 répétitions des paramètres à étudier. Les analyses DTS ont été réalisées la semaine consécutive aux profils sensoriels. Les données ont été enregistrées sous le logiciel Tastel® (ABT Informatique, Rouvroy-sur-Marne, 2012).

## 2.3. EXPERIMENTATION 2 : IMPACT DU CHAUFFAGE SUR LA LIBERATION DES MOLECULES SAPIDES AU NIVEAU DES FRACTIONS SOLUBLES

### 2.3.1. Extraction de la fraction soluble

Les portions de fromages ont été mixées, dispersées dans l'eau déminéralisée 40°C (w/w : ½) et ensuite homogénéisées pendant 4 minutes avec un homogénéisateur (Ultra-turax). La suspension a été centrifugée à 18000g pendant trente minutes à 4°C. Les trois phases ont été séparées : la phase lipidique, la fraction soluble et la fraction protéique. La fraction lipidique a été écartée alors que la fraction hydrosoluble a été récupérée, congelée à -80°C et lyophilisée. L'extraction a été répétée pour chaque condition de température (20°C et 200°C).

### 2.3.2. Profil gustatif

Pour cette expérimentation, seuls 4 descripteurs gustatifs (salé, amer, acide et piquant) ont été évalués sur une échelle linéaire de 0 à 10. Pour les fractions solubles, les références ont été adaptées par rapport à celles utilisées pour le profil sensoriel (tableau 21). Le même panel, composé de 9 personnes, a été sélectionné pour cette deuxième expérimentation.

Tableau 21 : Liste des descripteurs utilisés pour évaluer les fractions solubles et définitions associées

Descripteurs	Définitions	Référents	Borne illustrée
<b>Salé</b>	Perception salée détectée par les bourgeons de la langue	2.5g/l de NaCl	Borne 5/6
<b>Amère</b>	Perception amère détectée par les bourgeons de la langue – Perception rémanente, qui se déclenche au cours de la mastication	3 g/l de leucine	Borne 6/7
<b>Acide</b>	Perception salée détectée par les bourgeons de la langue – Perception vive et par pointe, disparaît rapidement	0,84g/l d'acide lactique	Borne 6
<b>Piquant</b>	Perception irritante qui est perçue sur les muqueuses	7g de moutarde dans 100g de fromage blanc – borne 7	Borne 7

**Les fromages entiers** ont été préparés comme décrits dans la partie 2- « Considérations méthodologiques ». **Pour les fractions solubles**, avant chaque évaluation sensorielle, les lyophilisats ont été remis en suspension en se basant sur le poids de départ du fromage. Une dose de 10 ml de solution aqueuse a été présentée dans des gobelets en plastique codés à 3 chiffres. Comme pour les fromages entiers, l'utilisation d'un pince-nez (Salles 2000) a été requise et les mêmes conditions de rinçage entre les échantillons ont été opérées.

### 2.3.3. Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées sur 3 Fourmes d'Ambert issues du même lot de fabrication et pour chaque stade de commercialisation. La composition physico-chimique des fromages a été analysée selon les normes standards. Toutes les mesures ont été répétées 3 fois.

- *pH* a été mesuré en utilisant un pH-mètre (Schott, Mainz, Allemagne) équipé d'une électrode.
- *Extrait sec* : Les matières sèches ont été analysées par dessiccation selon la norme NF ISO 5534.
- *Les minéraux* : Les teneurs en calcium, en sodium, en potassium et en magnésium ont été déterminées par absorption atomique (Varian, Les Ulis, France) selon la norme NF ISO 8070 ; tandis que les ions inorganiques comme les ions chlorures ont été évalués par méthode potentiométrique selon la norme NF ISO 5943. La teneur de phosphore totale a été mesurée par spectrométrie d'absorption moléculaire selon une méthode interne.
- *Les matières grasses* : la teneur en matières grasses a été mesurée par la méthode acido-butyrométrique d'après la norme NF V04-287.
- *Les fractions azotées* : l'azote totale et l'azote soluble ont été déterminés par la méthode Kjeldahl, respectivement selon la normes ISO 8968-1.

### 2.3.4. Analyses statistiques

Toutes les données sensorielles ont été recueillies avec le logiciel Tastel®, version 2012 (ABT Informatique, Rouvroy-sur-Marne, France). Les données ont été ensuite traitées avec le logiciel XLSTAT® (Addinsoft, Paris, France).

#### 2.3.4.1. Profil sensoriel issus des expérimentations 1 & 2

Pour contrôler les performances du panel, une analyse à 3 facteurs avec un modèle (sujets, produit et séance) avec interaction a été réalisée. Les sujets et les répétitions étaient considérés comme effets aléatoires et les produits comme effet fixe.

Le modèle de l'ANOVA utilisée pour contrôler les performances a été le suivant :

$$Y = \text{Produit} + \text{Sujet} + \text{Session} + \text{Produit} * \text{Sujet} + \text{Produit} * \text{Session} + \text{Sujet} * \text{Session} + \varepsilon$$

Ainsi, la répétabilité, le pouvoir discriminant et le consensus du panel a pu être évalué pour chaque descripteur.

Pour l'identification des différences lorsque l'ANOVA s'avérait significative, le test de comparaisons multiples de Tukey a été appliqué avec un risque d'erreur à 5%.

Sur les données concernant les saveurs, une analyse de variance a également été réalisée pour mettre en évidence les effets : type de fromages, stade de commercialisation et température. Les

interactions associées ont également été identifiées (température\*stade; stade\*fromages, température\*fromages).

Pour décrire les produits et visualiser le positionnement des produits les uns par rapport aux autres, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée sur la moyenne des trois répétitions pour chaque produit.

Une Analyse Factorielle Discriminante (AFD) a été réalisée sur les données de flaveur. Cette méthode permet de déterminer l'appartenance d'un individu (ici produit) à un groupe défini au préalable. La comparaison entre le groupe prédit et le groupe formé a priori est un bon indicateur concernant la qualité de discrimination, elle est exprimée en pourcentage de reclassement correct.

#### **2.3.4.2. Méthode DTS**

Pour chaque produit évalué et pour chaque durée, l'indice de dominance a été calculé par attribut (Pineau et al. 2009 ; Labbe et al. 2009). Ce score de dominance a été obtenu en divisant le nombre de citations par attribut (toutes les répétitions) par le nombre de juges et le nombre de répliques. Deux autres courbes ont pu être tracées selon la méthode de Pineau et al. (2009) pour permettre de mieux interpréter les résultats des courbes DTS. La « courbe chance » indique le taux de dominance qu'un descripteur peut obtenir par chance. La « courbe de significativité » basée sur un test binomial indique le seuil au-dessus duquel un descripteur peut être considéré comme significatif. Plus l'indice de dominance est élevé, plus l'accord entre les sujets est grand.

#### **2.3.4.3. Analyses physico-chimiques**

Pour mettre en évidence les variables significatives, une analyse de variance à 3 facteurs (température, stade et type de fromages) avec interactions a été effectuée sur les données issues des fromages entiers et des fractions solubles. La comparaison des moyennes 2 à 2 s'est effectuée à l'aide du test de Tukey à 5%. Une ACP a été réalisée sur les données physico-chimiques de ces deux types de fractions pour visualiser le positionnement des fractions selon la température et le stade de commercialisation.

Pour analyser les relations entre les variables physico-chimiques et les descripteurs gustatifs, une ACP (Pearson) a été réalisée sur les fractions solubles selon les deux conditions de traitement.

### **2.4. RESULTATS ET DISCUSSION : EXPERIMENTATION 1**

Avant de mettre en évidence l'effet de la température sur les propriétés sensorielles des fromages (entiers) à pâte persillée, une description sensorielle des 2 types de fourmes va être présentée dans un premier temps de façon globale par la méthode des profils. Dans un deuxième temps, seul le cas de la Fourme d'Ambert SA est présenté pour lequel les résultats se sont focalisés sur les profils de flaveur suivi par les perceptions dynamiques (courbes DTS). Les complémentarités des deux méthodes ont conclu cette partie.

### 2.4.1. Description sensorielle des Fourmes d'Ambert selon les deux conditions de traitement –Approche globale et statique

#### 2.4.1.1. Performance du panel

Avant de caractériser en détail les qualités sensorielles qui se dégagent des différents fromages à froid et à chaud, une analyse de la performance du panel a été menée

Une première analyse de variance (non présentée) a permis d'exclure 1 individu ayant une moins bonne discrimination que les autres membres du panel et donnant des notes très différentes. 8 sujets ont donc été conservés pour la suite des analyses. Le tableau 22 synthétise les résultats issus des différentes ANOVAs menées sur l'ensemble des descripteurs selon les conditions de température.

Tableau 22 : Synthèse des ANOVAs (*p-values*) réalisées sur les descripteurs évalués sur les fromages à froid et à chaud ( $\alpha = 5\%$ )

Descripteurs à froid	Effet produit	Effet session	Effet produit* sujet	Descripteurs à chaud	Effet produit	Effet session	Effet produit* sujet
Couleur	0,204	0,855	0,89	Filant	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	0,161
Humidité de la pate	<b>0,018</b>	0,605	0,981	Capacité _fondre	0,847	0,165	0,389
Persillage	0,064	0,811	0,969	Exsudation d'huile	0,369	0,164	0,777
Répartition_persillage	0,277	0,310	0,519	Persillage	<b>0,024</b>	0,905	0,451
Ferme au doigt	0,103	0,197	0,535	Intensité odeur	0,714	0,299	<b>0,006</b>
Intensité odeur	<b>0,013</b>	<b>0,031</b>	0,363	Ammoniac_O	0,065	0,712	0,503
Ammoniac_O	0,167	0,645	0,096	Lactique_O	0,538	0,178	0,450
Lactique_O	0,535	0,667	<b>&lt; 0,0001</b>	Salé	<b>0,001</b>	0,485	<b>0,046</b>
Salé	<b>0,002</b>	0,435	<b>0,025</b>	Acide	<b>0,002</b>	0,679	0,470
Acide	<b>0,002</b>	0,417	0,246	Amer	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0,032</b>	0,071
Amer	<b>0,000</b>	0,598	<b>0,030</b>	piquante	<b>0,004</b>	0,837	0,425
piquante	<b>0,000</b>	0,705	0,164	Arôme global	<b>0,011</b>	0,860	<b>0,004</b>
Arôme global	0,058	0,848	<b>&lt; 0,0001</b>	Ammoniac_A	<b>0,035</b>	0,896	<b>0,009</b>
Ammoniac_A	<b>0,002</b>	0,769	0,767	persistance	<b>0,018</b>	0,491	<b>&lt; 0,0001</b>
Moisi_A	0,104	<b>0,049</b>	0,233	Moisi_A	0,274	0,772	0,080
persistance	<b>0,003</b>	0,721	<b>0,026</b>	Onctueuse	0,538	0,148	0,436
Ferme en bouche	0,081	0,146	<b>0,005</b>	Crayeuse	0,085	0,558	<b>0,001</b>
Onctueuse	<b>0,006</b>	0,669	0,125	Caoutchouteuse	<b>0,024</b>	0,822	<b>0,008</b>
Crayeuse	0,365	0,534	0,824	Collante	0,057	0,196	<b>0,013</b>
Caoutchouteuse	<b>0,015</b>	0,520	<b>&lt; 0,0001</b>				
Collante	<b>0,047</b>	0,937	<b>&lt; 0,0001</b>				



L'effet « session » est significatif uniquement pour 2 descripteurs dans les deux conditions de température, ce qui montre une bonne répétabilité de la part du jury. Concernant la discrimination des produits, il existe une différence significative ( $p < 0,05$ ) pour la majorité des descripteurs (plus de 50%) dans les deux conditions. La plupart de ces descripteurs significatifs sont en lien avec les saveurs. Parmi ces descripteurs significatifs, des interactions produits\*juges sont observées. A froid, 5 interactions sont significatives sur les descripteurs suivants : salé, amer, persistance, caoutchouteuse et collante. Elle est surtout significative pour les deux derniers descripteurs ( $p < 0,0001$ ). A chaud, sur les 11 descripteurs significatifs, 6 présentent des interactions (salé, arôme global, arôme ammoniac, persistance, caoutchouteuse et collante). Les descripteurs caoutchouteux et collant présentent encore une interaction. Il est possible d'émettre l'hypothèse que ce désaccord entre les sujets peut provenir de l'effet intra-produit. En effet, malgré une homogénéisation dans la présentation des produits, les juges pouvaient avoir des portions présentant une répartition pâte / persillage différente ce qui pouvait influencer la texture mais aussi les arômes.

En conclusion, le panel présente une bonne répétabilité et une bonne discrimination. Malgré des interactions produit\*sujet sur certains descripteurs, le consensus du panel s'avère correct. Par ailleurs, les notes issues des 3 séances peuvent être regroupées.

#### **2.4.1.2. Description sensorielle des deux types de fromages**

##### **2.4.1.2.1. Fromages à froid**

La figure 21 représente la moyenne des notes d'intensité pour les fromages évalués à froid ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ), tous stades confondus. Onze descripteurs sont significatifs : humidité de la pâte, odeur globale, salé, amer, acide, piquant, persistant, arôme ammoniaqué, onctueux, caoutchouteux et collant. Au toucher, les fromages SA sont plus humides que les fromages SB. Même si les fromages présentent un visuel proche, des dispersions sont à noter concernant les descripteurs visuels. Cette variabilité peut se traduire soit par la difficulté des sujets à évaluer ces descripteurs malgré un protocole défini avec des photos, soit par le fait que les résultats prennent en compte les 3 stades. Selon le stade et la découpe des tranches, la quantité et la répartition du persillage changent selon la Fourme et de là, modifient leur visuel. En bouche, des différences sont observées. Pour les descripteurs de saveur significatifs, les fromages SA présentent une saveur plus intense et marquée en comparaison aux fromages SB. Ces résultats semblent cohérents au regard de la variante de formulation choisie pour ces deux types de fromages SA et SB. Durant l'affinage, les bactéries protéolytiques et lipolytiques en association avec le *Penicillium roqueforti* se développent et jouent ainsi sur le développement des saveurs. Selon le type de souches utilisées, les activités protéolytiques et lipolytiques sont différentes. Lamberet et al.(1983) montrent que la production des lipases est dépendante du facteur souche qui peut être également influencée par le milieu et



notamment par le pH. Cette production de lipases va ainsi jouer sur la quantité et le type d'acides gras libres et de ce fait sur les arômes.

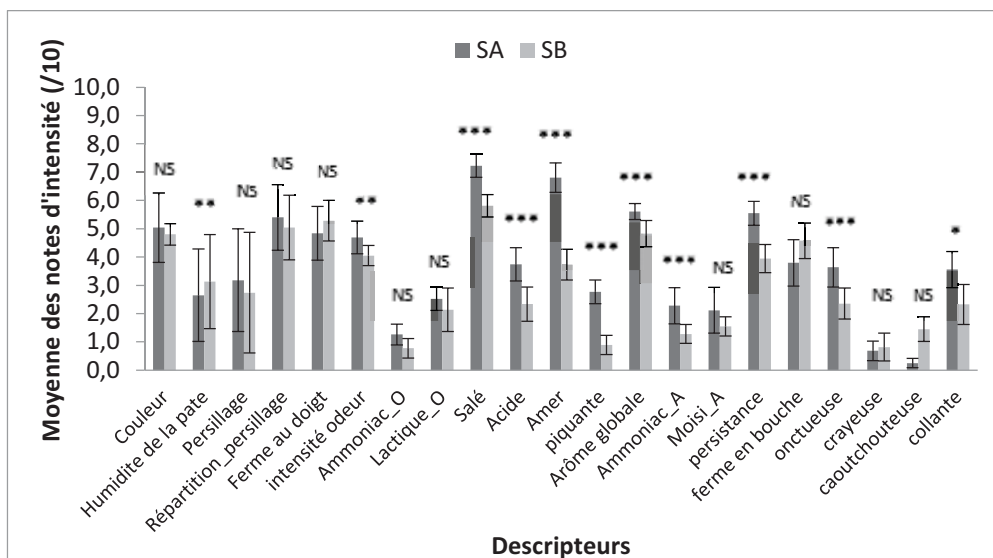


Figure 21: Moyenne des notes d'intensité et écarts-types sur les fromages SA et SB évalués à froid ( $T = 20^{\circ}\text{C}$ ) ; O = Odeur et A = Arôme; \*, \*\*, \*\*\* significatif à  $p < 0,05$  ; 0,01 et 0,001 ; NS = Non Significatif

#### 2.4.1.2.2. Fromages à chaud

A chaud, 11 descripteurs présentent une significativité ( $p < 0,05$ ). Parmi les descripteurs en lien avec les propriétés fonctionnelles, un seul présente une différence significative ( $p < 0,0001$ ). Les fromages SB sont plus filants que les fromages SA (figure 22). Les deux fromages présentent une bonne capacité à fondre et présentent une exsudation d'huile peu importante, mais aucune différence significative n'est observée entre ces deux produits. En bouche, les fromages SB sont plus caoutchouteux que les fromages SA. Sur les saveurs (salé, acide, amer, piquante, arôme globale, arôme ammoniac, arôme moisi), les intensités sont plus élevées et prononcées pour les fromages SA que pour les fromages SB.

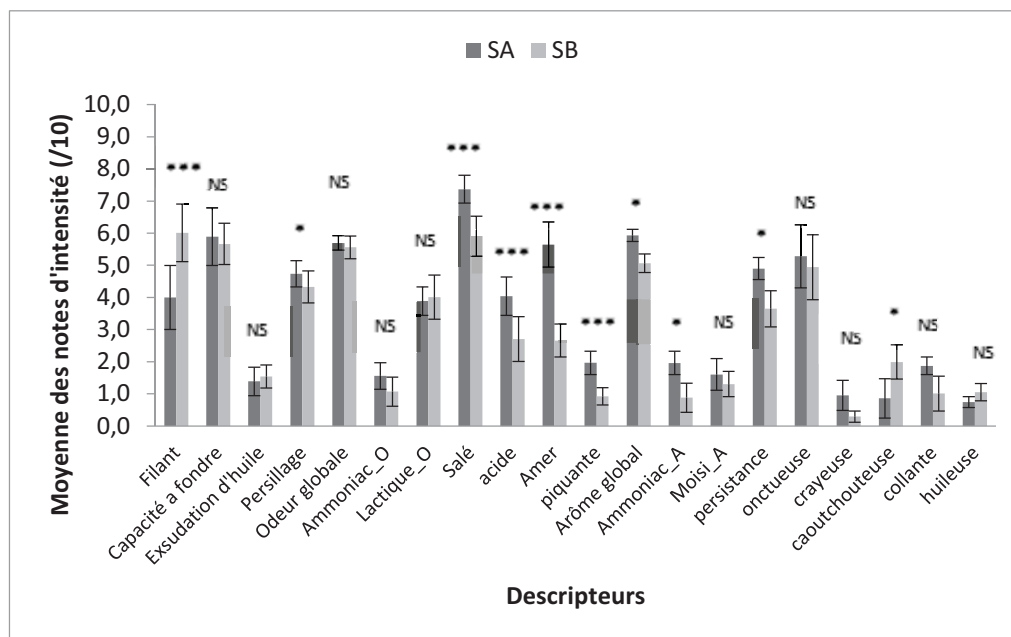


Figure 22 : Moyennes des notes d'intensités et écarts-types sur les fromages SA et SB à chaud ( $T = 200^{\circ}\text{C}$ ), O = Odeur et A = Arôme; \*, \*\*, \*\*\* significatif à  $p < 0,05$ ; 0,01 et 0,001 NS : Non Significatif

Cette première caractérisation souligne des différences marquées entre les fromages SA et SB selon les conditions de traitement. Dans les deux cas, ces différences sont axées plus particulièrement sur les saveurs qui sont plus prononcées dans les fromages SA. Quelques différences sur la texture sont également observées. A chaud, le fromage SB se distingue par le filant et le caoutchouteux.

En conclusion, les fromages SB semblent être bien adaptés au chauffage étant donné qu'ils se distinguent par leur capacité à filer et qu'ils exsudent peu de gras. Cependant en bouche, les fromages SB sont fades et développent peu d'arôme en comparaison avec les fromages SA. A l'inverse, les fromages SA présentent un profil aromatique typé et prononcé. Malgré une capacité à filer moins bonne, les fromages SA restent onctueux quelles que soient les conditions de traitement.

#### **2.4.1.3. Effet du chauffage sur l'ensemble des propriétés sensorielles des deux types de fromages**

Une ACP a été réalisée sur les notes des descripteurs significatifs de l'ensemble des 16 fromages étudiés (figure 23). Cette ACP permet de visualiser le positionnement général des fromages et d'identifier les corrélations entre les descripteurs. Les deux premiers axes (F1-F2) de l'ACP restituent 84% de l'information totale. Le premier axe factoriel (53%) est décrit essentiellement par des éléments de saveur tels que l'acide, le salé, le piquant, la persistance et l'amertume. Ces descripteurs décrivent principalement l'ensemble des fromages SA, quelle que soit la température de chauffage. Les fromages SB se caractérisent par le terme caoutchouteux quelle que soit la température de chauffage. Ce premier axe oppose ainsi les fromages SA et SB. L'axe 2, qui représente 31% de l'information globale, est décrit par les descripteurs suivants : filant, intensité de l'odeur, onctuosité positivement et humidité de la pâte et collant négativement. Ce deuxième axe

oppose les fromages selon les conditions de traitement. Les fromages chaud sont globalement décrits par le filant, l'onctuosité et l'odeur globale. A froid, les fromages se distinguent par l'humidité de la pâte et le collant.

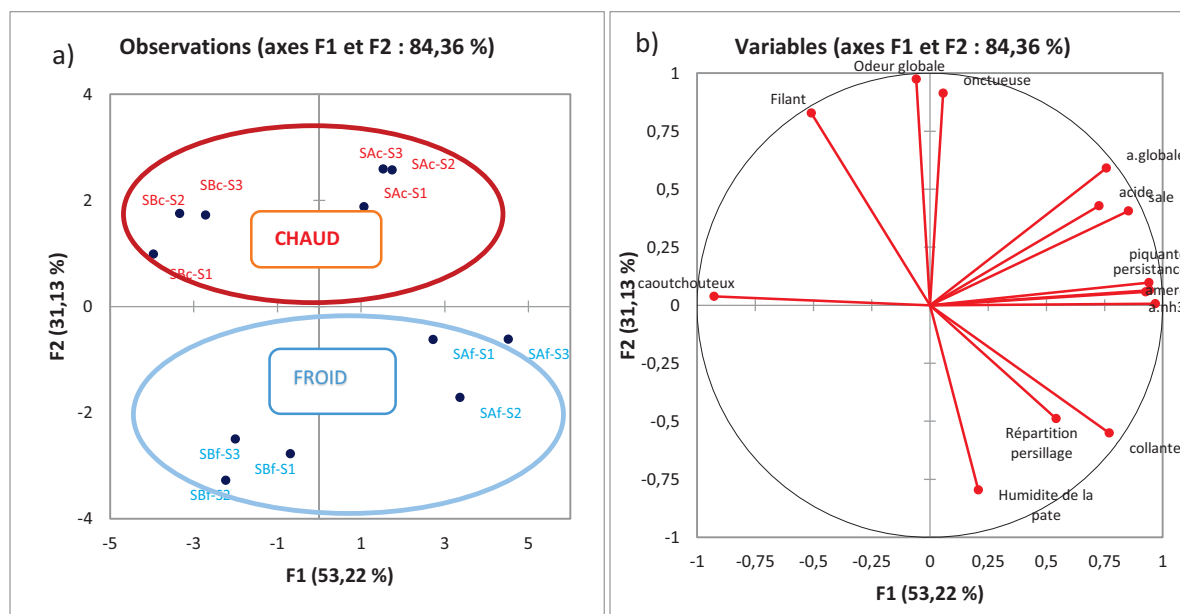


Figure 23 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les données des profils sensoriels des fromages à froid et à chaud c = chaud ; f = froid ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stades à 77 jours

D'après cette analyse, les propriétés de texture sont des éléments différenciant pour décrire et distinguer les fromages à froid et à chaud. Ces résultats confortent le fait que le chauffage modifie la texture qui se définit par des descripteurs qui lui sont propres selon les conditions de température (exemple : filant). Des analyses complémentaires ont été axées uniquement sur les 11 descripteurs de flaveur pour mieux comprendre l'impact du chauffage sur ces propriétés.

### 2.4.1.4. Effet du chauffage sur les propriétés de flaveur des deux types de fromages

Une analyse de la variance a été réalisée sur les 11 descripteurs de flaveur en mettant en évidence l'effet température, l'effet souche et stade de commercialisation et les interactions associées (tableau 23).

Tableau 23 : P-value issues des ANOVAs réalisées sur les 11 descripteurs de flaveur ( $\alpha = 5\%$ )

Facteurs	Odeur globale	Odeur lactique	Odeur NH3	Salé	Acide	Amer	Piquante	Arôme global	Arôme moisi	Arôme NH3	Persistant
Condition température	< 0,0001	< 0,0001	0,123	0,459	0,317	< 0,0001	0,116	0,715	0,000	0,146	< 0,0001
Fromage	0,003	0,476	0,004	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,011	< 0,0001	< 0,0001
Stade commercialisation	0,806	0,515	0,751	0,000	0,008	0,084	0,674	0,155	0,261	0,104	0,010
Fromage*Stade*	0,819	0,111	0,938	0,875	0,054	0,611	0,479	0,630	0,145	0,843	0,650
Température*Stade	0,435	0,044	0,212	0,103	0,483	0,050	0,473	0,140	0,226	0,642	0,573
Fromage*Température	0,054	0,184	0,987	0,831	0,860	0,815	0,016	0,711	0,425	0,804	0,263

Un effet condition de température significatif est observé sur 45% des descripteurs : odeur globale, odeur lactique, amer, arôme de moisi et persistance. Les fromages à chaud présentent une intensité de l'odeur globale et lactique plus intense que les fromages à froid ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ). Quant aux fromages à froid, ils se caractérisent par une saveur plus amère, un arôme de moisi plus intense et plus persistant (tableau 24).

Tableau 24 : Moyenne des notes d'intensité pour chaque descripteur de flaveur selon les deux conditions de traitement. Les moyennes accompagnées par des lettres différentes (sur une même colonne) indiquent qu'il y a une différence significative à  $p < 0,05$ . (O = odeur ; A = arôme)

	Odeur globale	Ammoniac O	Lactique O	Salé	Acide	Amer	Piquante	Arôme globale	Ammoniac A	Moisi A	Persistance
T20	4,4 <sup>b</sup>	1,0 <sup>a</sup>	2,3 <sup>b</sup>	6,5 <sup>a</sup>	3,0 <sup>b</sup>	5,3 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	5,2 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	4,7 <sup>a</sup>
T200	5,7 <sup>a</sup>	1,3 <sup>a</sup>	3,9 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>	3,4 <sup>a</sup>	4,2 <sup>b</sup>	1,4 <sup>b</sup>	5,5 <sup>a</sup>	1,4 <sup>a</sup>	1,5 <sup>b</sup>	4,3 <sup>b</sup>

Un effet stade de commercialisation est observé uniquement sur les saveurs salé, acide. Toutefois une tendance est observée pour l'amertume (à 10%). A 35 jours (S1), les fromages (tous types confondus) sont plus acides. En revanche, ils sont moins salés que les fromages à 56 jours et 77 jours. Ces différences de profils entre les stades peuvent s'expliquer par la protéolyse et la lipolyse qui métabolisent (moins activement qu'au début de l'affinage) les acides gras ou les peptides intervenant sur les saveurs. Young et al. (2004) observent des évolutions de saveurs sur le Cheddar entre des stades de maturation différents. Un effet type de fromage très important est également observé sur la majorité des descripteurs (10 sur 11) et confirme les résultats identifiés précédemment. Les fromages SA présentent un profil aromatique et gustatif plus intense que les fromages SB.

Une ACP (figure 24) a été réalisée sur les 11 descripteurs de l'ensemble des fromages. Les deux premiers axes factoriels expliquent 84% de l'information totale. Le premier axe (60%) oppose les types de fromages, à savoir les fromages SA des fromages SB. Les fromages SA se définissent par l'ensemble des descripteurs de flaveur comme l'odeur ammoniac, l'acidité, l'amertume et l'arôme global. L'axe 2 (23,9%) est défini par les descripteurs « odeur globale et odeur lactique ». Il sépare les fromages selon les conditions de traitement (fromages à chaud s'opposant aux fromages à froid). Les fromages à chaud se distinguent par une odeur globale et une odeur lactique par rapport aux fromages à froid. Même si l'arôme de moisi n'est pas significatif, il décrit de manière globale les fromages à froid.

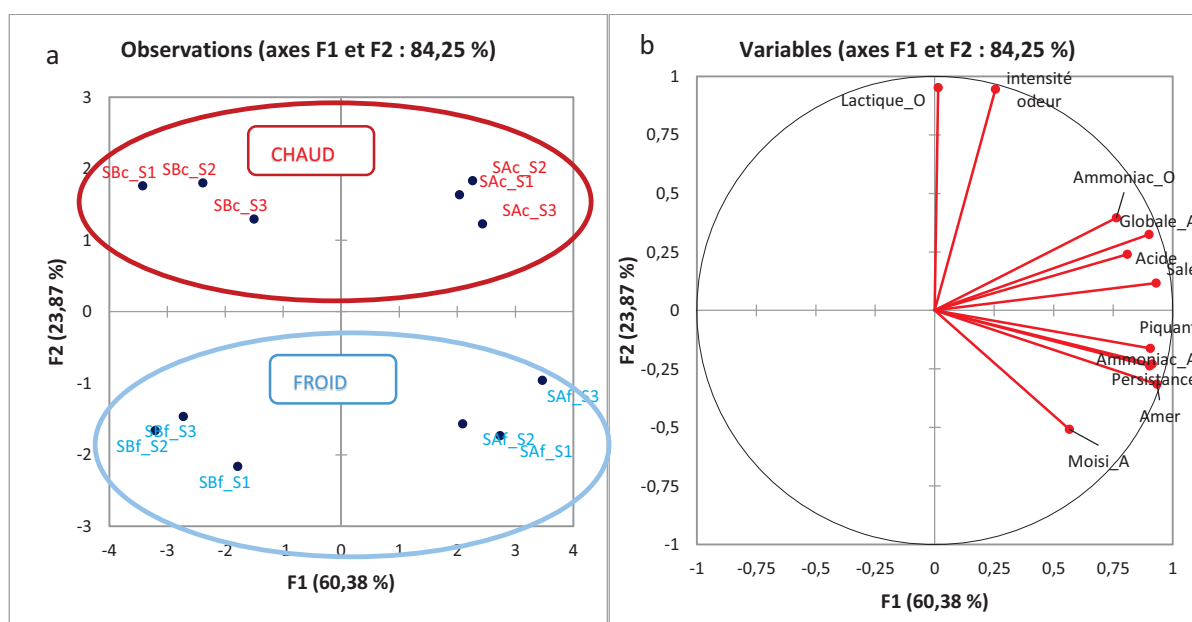


Figure 24: Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisées sur les attributs de flaveur des fromages à froid et à chaud. c = chaud ; f = froid ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours

Finalement, une Analyse Factorielle Discriminante (AFD) a été réalisée sur les descripteurs de flaveur sur les deux fromages selon les deux conditions de température (figure 25). Cette analyse montre clairement une bonne discrimination entre les fromages selon leur condition de température induisant des modifications d'intensité sur les flaveurs induites par le chauffage. Par ailleurs, elle permet aussi de bien séparer les deux types de fromages qui se distinguent par des différences de flaveurs apportées par certains paramètres du procédé.

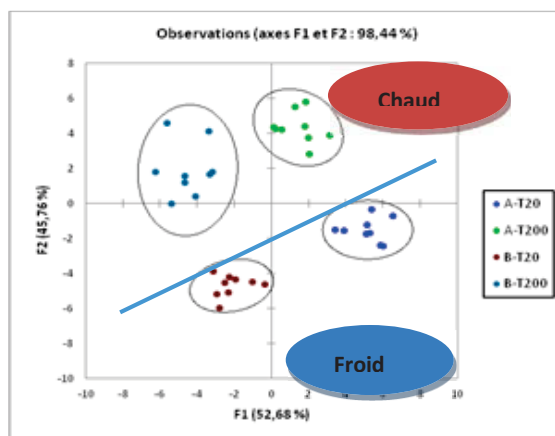


Figure 25 : Carte factorielle (F1-F2) issue de l'AFD réalisée sur les descripteurs de saveurs des fromages SA et SB selon les deux conditions de température (20°C et 200°C)

En utilisant une validation croisée, les résultats montrent que le pourcentage correct de reclassement pour les fromages SA\_T20, SA\_T200 et SB\_T20 est de 100% et de 77% pour les fromages SB\_T200 (tableau 25).

Tableau 25 : Pourcentage correct de classement issus de la validation croisée sur les 4 fromages à froid ( $T = 20^{\circ}\text{C}$ ) et à chaud ( $T = 200^{\circ}\text{C}$ )

de \ Vers	SA-T20	SA-T200	SB-T20	SB-T200	Total	% correct
SA-T20	9	0	0	0	9	100,00%
SA-T200	0	9	0	0	9	100,00%
SB-T20	0	0	9	0	9	100,00%
SB-T200	0	1	1	7	9	77,78%
Total	9	10	10	7	36	94,44%

**D'une manière générale, la température semble avoir un impact modéré sur différentes saveurs et agit de manière différente selon les attributs.** La température affecte deux attributs en lien avec les odeurs : odeur globale et odeur lactique. Les résultats sont en accord avec certains auteurs. Kahkonen et al. (1995) démontrent que l'odeur de fromage et l'odeur globale augmentent avec la température de service à  $63^{\circ}\text{C}$  par rapport à  $33^{\circ}\text{C}$  ou  $48^{\circ}\text{C}$ . Engelen et al. (2003) observent un phénomène similaire entre  $10^{\circ}\text{C}$  et  $35^{\circ}\text{C}$  pour lequel certaines odeurs et saveurs augmentent avec la température sur des mayonnaises et des crèmes anglaises. Cette perception plus intense des odeurs à chaud peut s'expliquer par le fait qu'avec la température les molécules odorantes deviennent plus volatiles, ce qui engendrerait une concentration plus importante de ces composés pouvant atteindre les récepteurs olfactifs. De plus, le chauffage affecte la structure des fromages, notamment l'agencement des protéines et la fonte des matières grasses. Selon ces modifications,

certaines arômes peuvent se lier aux protéines (caséines) et de ce fait réduire leur volatilité, ce qui résulte donc en une perception moins intense (Guichard 2002). Par ailleurs, la fonte des matières grasses peut agir comme un solvant et augmenter la volatilité de certains arômes. Par exemple, pour les molécules hydrophiles, elles seront plus volatiles dans l'eau que dans des produits avec des matières grasses. A l'inverse, les molécules hydrophobes telles que l'acétate d'éthyle et le butyrate d'éthyle auront une rétention plus grande dans huile que dans l'eau.

Dans notre cas, le goût de bleu qui peut être associé au goût de moisi est généralement relié aux méthylcétones (2-pentanone, 2 hexanone) (Lawlor et al. 2003). Saint-Eve et al. (2009) montrent qu'en faisant varier la quantité de gras (20% et 40%) dans des fromages modèles, l'arôme bleu est perçu plus intense dans les fromages réduits en matière grasse que ceux à 40%. Des interactions hydrophobiques entre la molécule 2-heptanone responsable de cet arôme et la teneur en matières grasses, pourraient expliquer cette différence de perception. En partant de ce constat, il est possible d'envisager que la fonte des matières grasses, empêche le relargage de ce type de composés pour lequel nous obtenons une intensité moins forte à chaud qu'à froid. En ce qui concerne la note lactique, elle peut être associée à une note de beurre, elle est augmentée avec le chauffage. Le diacétyl, composé aromatique qui caractérise la note de beurre est un composé hydrophile (Relkin et al. 2004; Saint-Eve et al. 2009). Le fait de chauffer permet à cette molécule de se libérer plus facilement, ce qui expliquerait une intensité plus forte après chauffage. Toutefois, il ne faut pas perdre de vue l'impact du refroidissement. Les fromages ont été servis en même temps afin d'obtenir une température de dégustation de  $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , toutefois, il se peut que certains fromages se soient refroidis plus rapidement ce qui pourrait avoir des conséquences sur la libération de certains arômes. A partir de  $40\text{-}50^{\circ}\text{C}$ , la cristallisation de la matière grasse produit la solidification et un renforcement de la structure du fromage. En ce qui concerne les saveurs, seule l'amertume a été modifiée. Plusieurs hypothèses pourraient tenter d'expliquer ces résultats. Très récemment, Bajec et al. (Bajec et al. 2012) ont montré que la température influençait l'intensité maximale perçue pour les solutions amère, acide et astringente. Plus spécifiquement, l'amertume était perçue plus intense à froid ( $5^{\circ}\text{C}$ ) qu'à chaud ( $35^{\circ}\text{C}$ ). D'autres auteurs trouvent que les seuils de perception sont les plus bas entre  $22^{\circ}\text{C}$  et  $32^{\circ}\text{C}$  pour l'amertume de la quinine (McBurney et al. 1973). Toutefois, cette sensibilité dépend de la nature de la molécule et de la plage de température utilisée. De plus, ces investigations sont basées sur les seuils de détection en solution aqueuse (Bajec and Pickering 2008). Il est donc difficile de comparer l'influence de la température sur des seuils déterminés dans des solutions aqueuses par des méthodes psychophysiques en comparaison à une mesure de l'intensité sur une matrice alimentaire. Une explication liée à la neurophysiologie pourrait être émise pour justifier une diminution de l'amertume à des températures ambiantes ou plus basses. Talavera (2007) explique que les canaux TRPm5, canaux ioniques non sélectifs, impliqués dans la transduction des saveurs



amère, sucrée et umami, seraient sensibles à la chaleur. L'activation de ces canaux se ferait à partir de 10°C ce qui expliquerait une perception plus intense des saveurs (amère et sucrée) puis il y aurait une désensibilisation de ces canaux à de plus fortes températures (30-35°C) ce qui provoquerait une diminution de la perception. Une autre hypothèse pourrait provenir des différences individuelles. Depuis les années 2000, Green et al. ont identifié un nouveau phénomène appelé « **Thermal Taste** » (Green and Frankmann 1987) où après une stimulation thermique, une perception gustative pourrait être provoquée chez certains sujets (Yang 2013). Bajec et al. (2008) montrent que les Thermal Taster donnent des intensités plus élevées pour l'ensemble des stimuli (amer, sucré, métallique, astringence) que les Non Thermal Tasters. Toutefois, les différences observées sont significatives uniquement pour les perceptions astringente et métallique.

Concernant la perception salée entre les deux conditions de traitement, des résultats similaires ont été observés par Rosett et al. (Rosett et al. 1997). Dans des soupes réduites en sodium, la perception salée n'est pas affectée par la température selon le type d'épaississant utilisé (22°C versus 65°C) et de même les autres saveurs comme la saveur globale ou l'amertume ne sont pas modifiées non plus. Toutefois, sur certaines de ces soupes, la perception salée est plus intense à température ambiante qu'à 65°C. D'après la littérature basée sur les études psychophysiques, il a été reconnu que le seuil de détection pour le sel est plus bas entre 22°C et 37°C qu'à 50°C (Pangborn et al. 1970; McBurney et al. 1973; Schiffman et al. 2000) c'est-à-dire que les personnes sont plus sensibles à cette saveur à ces températures. Dans notre étude, aucune différence significative n'est observée.

#### **2.4.1.5. Synthèse**

La méthode du profil conventionnel a permis de caractériser les deux types de fromages selon les deux conditions de traitement et de mettre en exergue des différences marquées entre ces différentes conditions. Les fromages SA et SB se distinguent principalement par leurs différences aromatiques, les fromages SA présentant un profil plus typé et prononcé quelles que soient les conditions de traitement. Ainsi, l'effet de la température affecte comme attendu les propriétés texturales mais aussi certaines propriétés gustatives et aromatiques comme l'odeur globale, l'odeur lactique, l'arôme moisi, la persistance et l'amertume. Cette dernière saveur est atténuée par la température, ce qui pourrait s'expliquer plutôt par un phénomène de transduction que par les conséquences réelles de la température. En d'autres termes, les effets de la température sont difficilement généralisables et semblent être indépendants de la modalité sensorielle (odeur, arôme ou saveur) mais semblent être dépendants du type de composé étudié (polarité des molécules aromatiques). Par exemple, l'amertume de la caféine diminue avec le refroidissement, en revanche l'amertume de la quinine (Green and Frankmann 1987) augmente avec la température. Dans le cas des fromages, l'amertume apportée par certains acides aminés ou minéraux pourrait avoir un comportement similaire à la caféine.



### 2.4.2. Description dynamique des saveurs (DTS) selon les deux conditions de traitement : Application aux fromages jeunes

Les analyses précédentes ont montré que les fromages SB exposent un profil de saveurs similaire à celui des fromages SA malgré des notes d'intensité plus faibles. Un effet stade de commercialisation a également été mis en évidence sur quelques descripteurs. C'est pour cela que nous avons souhaité nous focaliser sur les résultats issus d'un seul type de fromage. Notre choix s'est axé sur la Fourme d'Ambert SA à 35 jours. Cette fourme correspond à une fourme traditionnelle couramment vendue dans les grandes surfaces et qui se caractérise par des saveurs prononcées. A ce stade de commercialisation elle peut être utilisée pour la découpe industrielle afin d'être valorisée dans des produits de snacking. En effet, à ce stade les fromages sont jeunes et peu friables. Cette partie a pour objectif de comparer les résultats par deux approches complémentaires : l'approche conventionnelle (profil sensoriel) et l'approche dynamique avec la méthode Temporelle des Sensations (DTS). Toutefois, dans certaines analyses, des données (issues des autres stades ou des fromages FB) ont dû être intégrées pour les besoins de traitements statistiques et afin d'approfondir la réflexion.

#### 2.4.2.1. Approche sensorielle conventionnelle : Focus sur les saveurs du fromage SA à 35 jours

La comparaison des fromages SA selon les deux conditions de traitement permet de mettre en évidence une différence significative sur 3 descripteurs ( $p < 0,05$ ). L'intensité de l'odeur globale et de l'odeur lactique augmente après chauffage. En revanche, l'intensité de l'amertume diminue après le chauffage (figure 26).

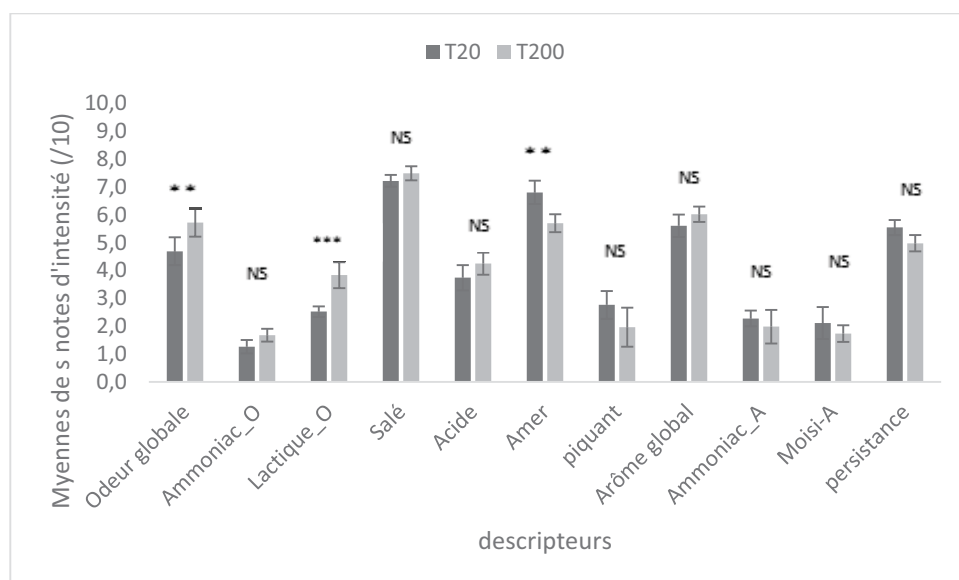


Figure 26 : Moyennes des notes d'intensité et écarts-types pour chaque descripteur de saveur pour les fromages SA à  $T = 20^{\circ}\text{C}$  et à  $T = 200^{\circ}\text{C}$  à 35 jours ; \*, \*\*, \*\*\* significatif à  $p < 0,05$  ; 0,01 et 0,001 et NS = Non Significatif

### 2.4.2.2. Approche temporelle et dynamique – Focus sur les saveurs de la fourme SA à 35 jours

La méthode DTS est une méthode qui permet de mettre en évidence l'évolution dynamique des perceptions au cours de la dégustation. Cette méthode a été appliquée sur les fromages à froid et à chaud pour identifier les dominances des saveurs pour chaque condition de traitement. Les courbes issues des fromages SA à 35 jours sont présentées dans ce chapitre pour illustrer cette méthode. De plus, la contribution de cette méthode par rapport à la méthode du profil a également été réalisée. Pour avoir une vision plus globale des résultats et une meilleure interprétation statistique, cette comparaison a été effectuée sur l'ensemble des fromages SA et SB à froid et à chaud. Cependant, nous nous sommes focalisés sur les résultats des fromages SA à 35 jours.

#### 2.4.2.2.1. Evolution dynamique des saveurs

Les courbes DTS des fromages selon les conditions de température sont représentées sur les figures 27. A 35 jours, à froid, le fromage SA est perçu en premier par une saveur salée (18 s) puis amère. Une fois avalé, la perception du fromage est dominée par un arôme ammoniac puis par une nouvelle perception amère et devient acide à la fin de la dégustation. Toutes les saveurs semblent être perçues lors de la dégustation à froid des fromages.

A chaud, les perceptions sont différentes. La première perception effective arrive au bout de 13 s. Après déglutition, le fromage est perçu légèrement acide mais avec une dominance très marquée d'amertume jusqu'à la fin de la déglutition. Un arôme ammoniac arrive en fin de dégustation.

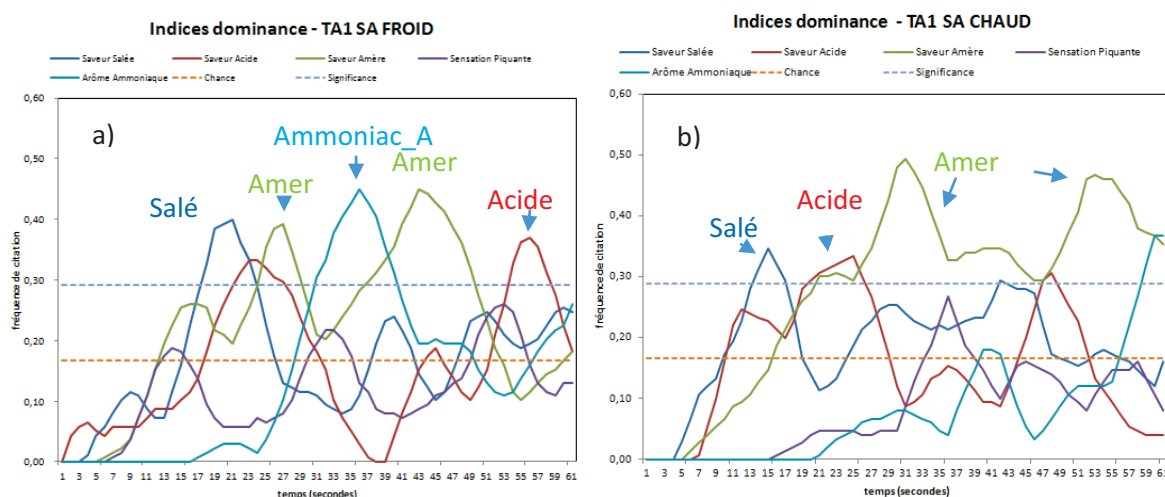


Figure 27 : Evolution temporelle de la dominance des sensations du fromage à froid (a) et à chaud (b) au stade de commercialisation de 35 jours (A = Arôme)

D'après ces courbes, les dominances semblent être différentes entre les deux conditions de traitement avec des dominances plus marquées à froid. A cette température, les profils semblent plus complexes avec différentes dominances qui se succèdent. A chaud, l'amertume semble être prépondérante, surtout après dégustation.

### 2.4.2.3. Effet du chauffage sur la dynamique sensorielle des perceptions gustatives

Afin de mettre en évidence l'effet de la température sur les différentes perceptions, la courbe de différences a été tracée entre les fromages à chaud et les fromages à froid pour chaque descripteur à chaque temps de la dégustation. Le résultat est illustré dans la figure 28. La différence des courbes obtenues à chaud et à froid montre l'existence de différences entre les deux conditions de traitement.

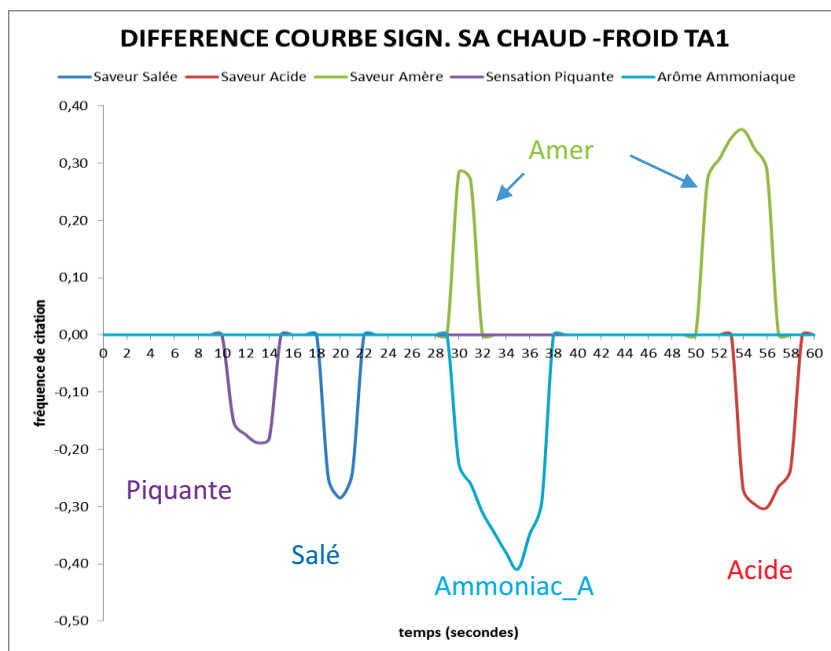


Figure 28: Courbe de différences entre les fromages SA à froid et à chaud à 35 jours (A = Arôme)

Le chauffage entraîne une diminution de la saveur salée et de la sensation piquante en attaque ainsi que l'apparition d'une saveur amère en fin de dégustation. L'effet de la température entraîne également une disparition des dominances acide et de l'arôme ammoniacé.

#### 2.4.2.3.1. Comparaison des résultats obtenus par la méthode DTS et le profil sensoriel – Application sur les deux types de fromages

Pour comparer les résultats apportés par le DTS et le profil sensoriel, nous avons choisi d'illustrer l'ensemble des résultats issus des différents fromages SA et SB. Deux ACP ont été réalisées, l'une avec les scores DTS calculés sur la moyenne pondérée par descripteur et l'autre sur les moyennes issues des profils sensoriels pour chaque descripteur.

A froid, les résultats des ACP (figure 29) montrent que 94% et 97% de l'information totale sont représentées sur les deux premières composantes principales pour le DTS et le profil sensoriel. Les produits sont positionnés de manière similaire. L'axe 1 oppose les fromages SA et SB. Plus particulièrement, le fromage SA à 35 jours (SAf-S1) se caractérise par une saveur acide et une sensation piquante. Même si la structure est très proche, quelques différences de corrélations

existent : pour le DTS, les saveurs salée et piquante ne sont pas corrélées tandis que ces deux variables le sont fortement au niveau du profil.

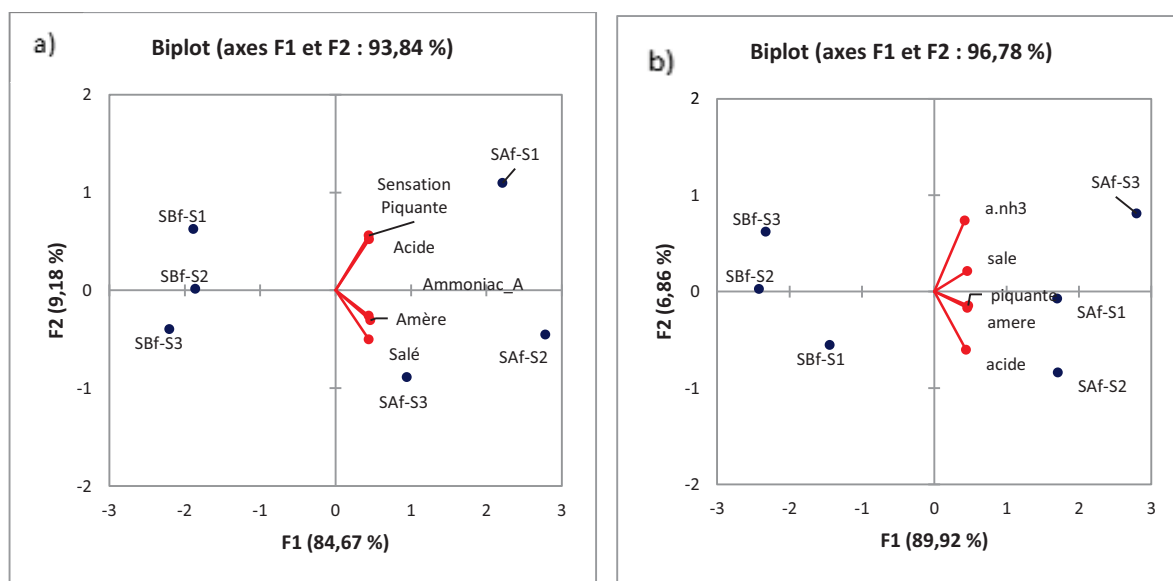


Figure 29 : Biplots issus des ACP (F1-F2) réalisées à partir des données des scores DTS (a) et du profil (b) sur les fromages SA et SB à froid. F = froid ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours

A chaud, les biplots du DTS et profil (figure 30) représentent respectivement 81% et 97% de l'information sur les deux premières composantes principales.

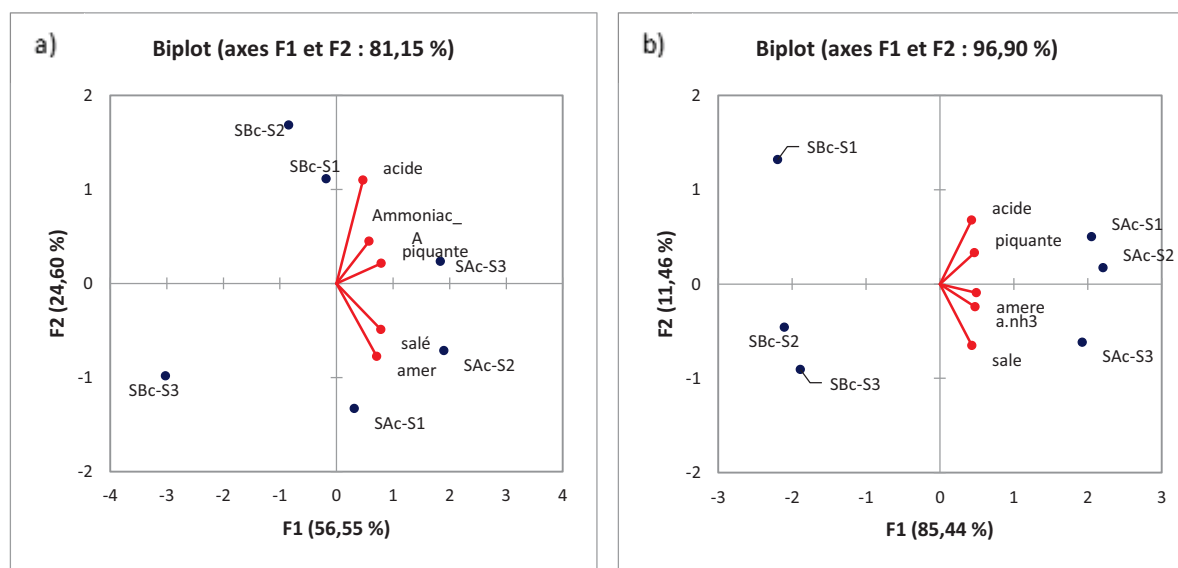


Figure 30 : Biplots issus des ACP (F1-F2) réalisées à partir des données des scores DTS (a) et du profil (b) sur les fromages SA et SB à chaud. c = chaud ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stades à 77 jours

Une opposition est toujours observée entre les fromages SA et SB. Toutefois, certains produits se positionnent différemment et certaines corrélations ne sont pas identiques. Dans le cas du DTS, pour le fromage SA à 35 jours, il est décrit par une saveur amère et n'est pas caractérisé par l'acidité tandis qu'avec le profil, il est caractérisé par l'acidité et le piquant. Les matrices de corrélation (non présentées) montrent des différences entre les deux méthodes. A titre d'exemple, avec le profil

l'acidité est reliée au piquant ( $r = 0,82$ ) et à l'amertume ( $r = 0,90$ ) tandis qu'avec la méthode DTS ( $r = 0,57$  et  $r = -0,07$ ), l'acidité ne présente pas de relation avec ces descripteurs.

Les résultats issus des deux méthodes montrent qu'il y a une bonne congruence des résultats à froid. En revanche, à chaud, des différences plus importantes apparaissent. La méthode DTS est une méthode dynamique qui évalue les sensations pas à pas de la mastication jusqu'à la déglutition. En regardant les différences à chaud, l'apparition de l'amertume survient en fin de bouche après déglutition. Par la méthode du profil sensoriel, méthode statique qui évalue les perceptions de manière immédiate en faisant la sommation des intensités sur l'ensemble des différents moments de la dégustation, il est plus difficile de mettre en exergue cette saveur après dégustation. Il sera donc intéressant de voir si cette sensation sera ressentie par les consommateurs.

Malgré un positionnement similaire des produits il est possible d'avoir des données différentes entre les 2 méthodes (Labbe et al. 2009). D'après les différences de courbes à froid et à chaud des fromages SA à 35 jours, l'amertume arrive après consommation et en fin de dégustation. Ces différences peuvent être dues au fait que le fromage est un produit complexe pour lequel une variabilité intra-produit existe et dont la perception évolue au cours du temps notamment en lien avec son refroidissement. D'après les résultats issus des courbes DTS, il apparaît clairement que les saveurs peuvent être dominantes en attaque, disparaître et dominer à nouveau en fin de dégustation. De ce fait, la méthode DTS apporte des informations temporelles supplémentaires concernant les propriétés gustatives selon les conditions de traitement qui peuvent être intéressantes pour comprendre les attitudes des consommateurs. Ces mêmes conclusions sont observées dans la littérature sur d'autres produits testés avec cette méthode (Pessina et al. 2005; Dinnella et al. 2013; Hutchings et al. 2014).

### **2.4.3. Conclusion**

La première expérimentation basée sur la méthode du profil classique a permis de caractériser les différents fromages SA et SB testés selon deux conditions de température à 20°C et 200°C. Les fromages SA et SB se différencient par leurs propriétés texturales, aromatiques et gustatives aussi bien à froid et à chaud. Selon ces deux conditions de température, une tendance générale est observée. Ainsi, les fromages SA présentent un profil aromatique et gustatif plus prononcés et développés que les fromages SB. Ces derniers se démarquent à chaud par leurs propriétés filante et caoutchouteuse. Les fromages SA ont tendance à être plus onctueux selon les deux conditions de température.

Dans un second temps, il a été possible de démontrer l'effet de la température sur certaines propriétés aromatiques et gustatives et sur les propriétés de texture. Le premier constat de cette analyse indique que le chauffage a un effet important sur les modifications des propriétés texturales des fromages. Les fromages à chaud se caractérisent principalement par leurs propriétés

fonctionnelles comme le filant et la capacité à fondre (Lucey et al. 2003). En zoomant sur les propriétés de flaveur, les fromages se discriminent également par ces propriétés selon les conditions de température. L'élément marquant montre que la température a un effet plus significatif sur les arômes ou sur les odeurs que sur les saveurs. Ces résultats semblent en accord avec ceux identifiés dans la littérature. La température agit sur la volatilité des odeurs et des arômes, résultant d'une plus grande concentration de ces molécules pouvant atteindre les récepteurs olfactifs (Engelen et al. 2002). Par ailleurs, tous les arômes ne sont pas intensifiés avec la chaleur. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que le relargage des molécules aromatiques dépend de la nature de la molécule chimique ainsi que la composition chimique de la matrice (Saint-Eve, 2009). Pour les saveurs, l'interprétation de ces résultats semble être plus complexe. En effet, il semblerait que les saveurs ne soient pas systématiquement modifiées avec la chaleur et que ces modifications soient dépendantes de la matrice (type de fromage) et du mécanisme de transduction. Les intensités de l'arôme de bleu et de l'amertume diminuent légèrement après chauffage. Ce constat peut être intéressant pour un usage culinaire à chaud mais aussi pour les personnes qui sont sensibles à l'amertume et qui n'apprécient pas le goût prononcé du « Bleu » et des fromages naturellement typés. Toutefois, il semble difficile de prédire l'impact de la température sur les modifications gustatives car plusieurs explications d'ordre physiologiques (effet Thermal-Taster), biochimiques ou sensorielles (interactions intra-modalité ou intermodalités ou structurales en lien avec la viscosité du produit et quantité de gras) peuvent jouer sur les modifications d'intensité.

D'un point de vue méthodologique, les deux méthodes sensorielles utilisées permettent de décrire les qualités sensorielles des fromages à chaud et à froid avec une approche statique et temporelle des perceptions. Comme souligné dans d'autres études, la méthode DTS est une méthode complémentaire apportant des éléments supplémentaires sur le comportement des perceptions en bouche pendant et après dégustation (Meillon et al. 2010). En effet, dans notre étude, nous avons remarqué que la température semblait impacter principalement les odeurs/arômes du fromage et de manière moins systématique les perceptions gustatives. Il serait donc intéressant de poursuivre cette étude en intégrant d'autres arômes comme la note lactique ou bleu/moisi. Avec la méthode DTS, il a également été possible de mettre en avant la dynamique des saveurs qui peuvent apparaître, s'atténuer ou disparaître au cours de la dégustation. Par ailleurs, il a été montré que le chauffage augmente la perception de l'amertume après déglutition.

Cette première approche sensorielle a permis de souligner des comportements différents à froid et à chaud de deux types de fourmes d'Ambert. En termes de valorisation industrielle il semble intéressant d'avoir montré que les fromages AOP du Massif central peuvent être valorisés dans des préparations culinaires et que certains sont plus adaptés pour des plats chauds et d'autres plutôt à intégrer dans des plats froids, de par leurs propriétés texturales et de flaveurs.

## 2.5. RESULTATS ET DISCUSSION : EXPERIMENTATION 2

Après avoir étudié les conséquences sensorielles du traitement thermique sur le fromage entier, nous nous sommes ensuite focalisés sur celles induites sur les fractions solubles. En effet, d'après la littérature les fractions solubles contribuent fortement à la perception des composés sapides dans les fromages (Aston and Creamer 1986). Il serait donc intéressant d'une part, de vérifier que ce même constat soit présent dans les fromages à pâte persillée (illustration sur le cas des fromages SA) et d'autre part, d'identifier les composants (macro et microéléments) sapides de ces fractions afin d'expliquer leur rôle sur les perceptions.

### 2.5.1. Contribution des fractions solubles dans la perception gustative des fromages : Exemple des fromages SA à froid à 35 jours

Les résultats se sont centrés sur les fromages SA à 35 jours comme précédemment. Toutefois, pour une meilleure interprétation dans l'analyse et la réflexion et valider plus largement nos observations, les données issues des 3 stades de commercialisation ont été insérées pour certaines analyses. La figure 31 représente les moyennes d'intensité de chaque saveur pour les fromages entiers et les fractions solubles issues de ces mêmes fromages.

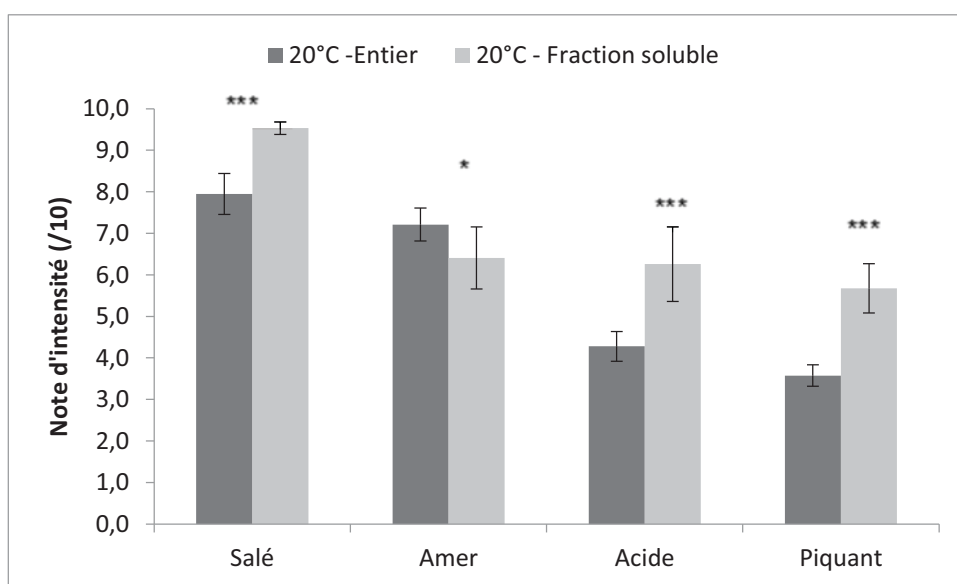


Figure 31 : Moyenne des notes d'intensité et écarts-types des descripteurs pour les fromages entiers SA à 35 jours et pour les fractions solubles issues de ces mêmes fromages à froid (20°C) ; \*, \*\*, \*\*\* significatif à  $p < 0,05$  ; 0,01 et 0,001 et NS = Non Significatif

Le profil gustatif des fromages entiers se caractérise par l'ensemble des saveurs acide, amère et salée. Le salé et l'amer sont les 2 saveurs dominantes. Elles présentent une note respective de 7,9 et 7,2. La sensation piquante ainsi que l'acidité sont moyennement perçues.

Le profil des fractions solubles est proche de celui du fromage entier. **La saveur salée** est la plus intense avec une intensité de 9,5. **L'amertume** est également très présente dans la fraction soluble avec une note de 6,4. Par contre, **l'acidité et le piquant** présentent des intensités plus fortes que celles obtenues dans les fromages entiers. En comparaison avec le fromage de chèvre, Engel et al.



(2000a) caractérisent leur profil gustatif par une perception salée, acide et amère. En revanche, les perceptions astringente et piquante, qui sont bien représentés au niveau des profils entiers, sont légèrement perçues dans les fractions solubles. La perception acide pourrait s'expliquer soit par un effet exhausteur dû au chlorure de sodium sur la concentration en  $\text{H}_3\text{O}^+$  soit par le type d'extraction utilisé. Il en est de même pour la sensation piquante. Il a été démontré que les acides gras à courtes chaînes pouvaient être responsables de cette sensation dans différents fromages (Collins et al. 2003). De même, le chlorure de sodium et de potassium peuvent avoir des propriétés irritantes (Green et al. 1989). Toutefois, cette sensation irritante peut survenir à partir de 0,4 M de NaCl (25g/l). Dans notre cas, cette différence d'intensité pourrait également provenir de l'extraction. En effet, une séparation réalisée en effectuant une ultracentrifugation poussée (100000g) permet de mieux séparer les différents composés (Engel et al. 2000a). N'ayant pas réalisé ce type de centrifugation, certains composés peuvent être encore présents dans l'extrait et par conséquent augmenter cette perception acide et piquante.

Concernant l'amertume, les différences de notations sont faibles mais la fraction soluble présente une perception significativement moins intense. Dans un camembert « amer », Engel et al (2001) observent une différence plus nette, avec une diminution importante de l'amertume dans la fraction soluble. Ils montrent que ces différences entre les fromages entiers et les fractions solubles sont dues aux effets provenant de la matrice sur ces deux attributs. Certains petits peptides contenus dans la fraction soluble ayant un goût amer seraient boostés par un effet de la matrice fromagère. De plus, ils démontrent que les peptides (500 à 2200 Da) et plus particulièrement ceux qui sont contenus dans le rétentat sont responsables de l'amertume. Les profils sensoriels de la fraction protéique ont été réalisés (non présentés ici) et montrent que l'amertume est dominante par rapport aux autres sensations (salée, acide et piquante) qui présentent de plus faibles intensités. Ces résultats semblent prouver que le type de fromage joue un rôle important sur les facteurs responsables de l'amertume. Cette comparaison entre les fromages entiers et les fractions solubles montrent que les principales saveurs salée, amère, acide et la sensation piquante sont identifiées dans la fraction soluble. De ce fait, ces résultats confirment la contribution forte de la fraction soluble dans les perceptions gustatives des fromages à pâte persillée.



### 2.5.2. Effet du chauffage sur les perceptions gustatives des fromages entiers et des fractions solubles du fromage SA

Après avoir étudié le profil gustatif des fromages et de leurs fractions solubles à 20°C, la comparaison des profils a été réalisée entre les fromages entiers selon les deux conditions de traitement et les fractions solubles.

#### 2.5.2.1. Effet du chauffage sur les fromages entiers

La figure 32 représente les moyennes obtenues pour chaque descripteur pour les fromages entiers selon les deux conditions de traitement. Globalement, les profils gustatifs semblent être très similaires. Les saveurs salée et amère sont dominantes par rapport à l'acidité et à la sensation piquante. La saveur salée présente en moyenne une note de 8,0. L'amertume est notée à 7,2 à froid et diminue légèrement à chaud (note de 6,1). Les notes d'acidité et de piquant sont stables selon les deux conditions de traitement, avec une note légèrement plus haute pour l'acidité. Les résultats du test de Student ( $\alpha=5\%$ ) montrent qu'une différence significative de perception d'intensité est observée pour l'amertume et l'acidité. Ces résultats sont très similaires à ceux observés dans l'expérimentation 1. L'amertume est légèrement plus perçue à froid qu'à chaud. En revanche, pour l'acidité, le phénomène inverse est observé, son intensité étant légèrement plus élevée à chaud qu'à froid. Dans la première expérimentation, une même tendance avait été observée.

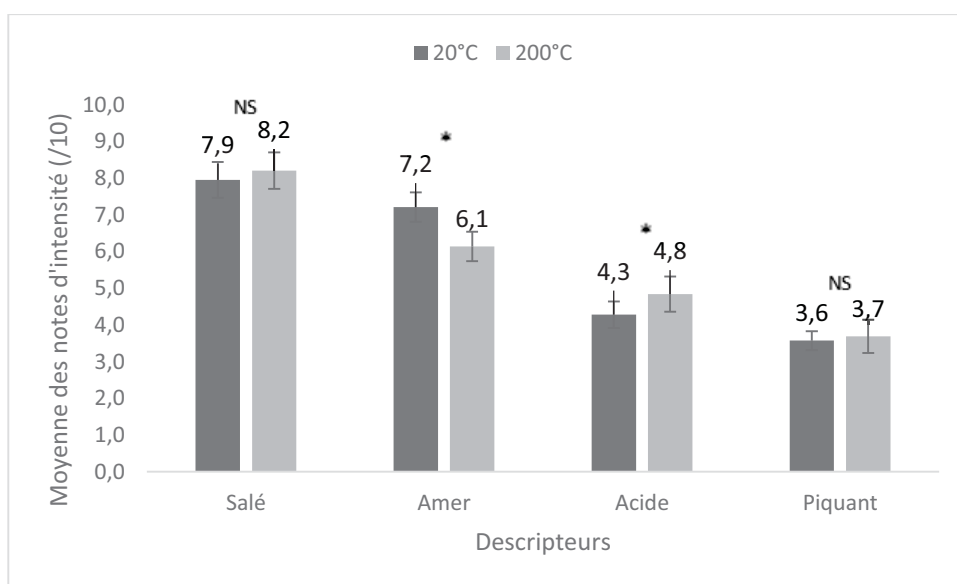


Figure 32 : Moyennes des notes et écarts-types des descripteurs selon les deux conditions de température (20°C et 200°C) pour les fromages entiers SA ; \* ; \*\* ; \*\*\* significatif à  $p < 0,05$  ; 0,01 et 0,001 et NS = Non Significatif

#### 2.5.2.2. Effet du chauffage sur les fractions solubles

La figure 33 représente la comparaison des notes d'intensité pour chaque descripteur des fractions solubles selon les deux conditions de traitement. Les profils gustatifs semblent similaires entre les deux conditions. Le test de Student démontre qu'il n'y a pas de différences significatives d'intensité selon ces deux conditions quel que soit le descripteur.

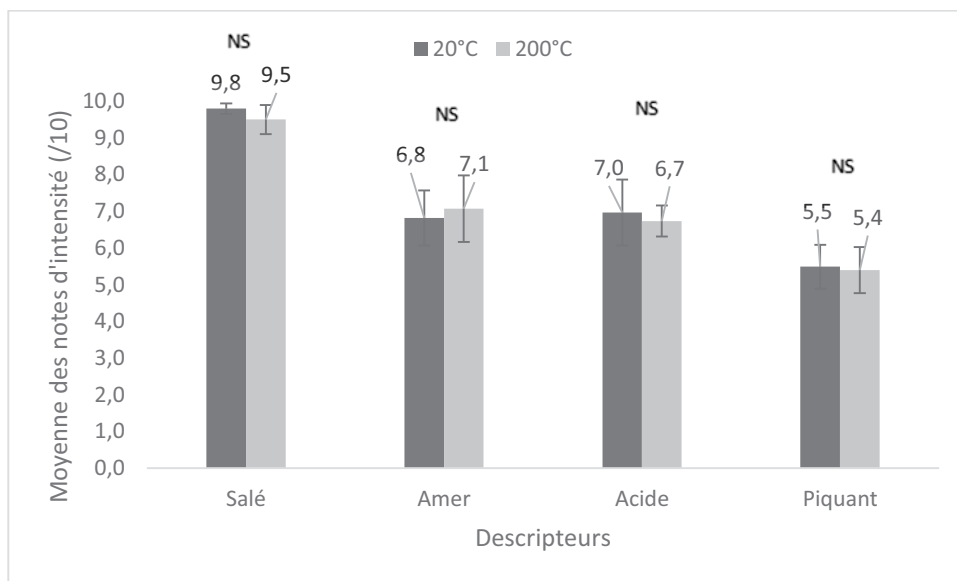


Figure 33: Moyennes des notes et écarts-types des descripteurs selon les deux conditions de température (20°C et 200°C) pour la fraction soluble issue des fromages SA ( $T = 20^{\circ}\text{C}$  et  $T = 200^{\circ}\text{C}$ ) ; s = soluble ; NS = Non significatif

En résumé, dans le fromage entier, de légères modifications d'intensité sont perceptibles entre les deux conditions de traitement. En revanche, ces différences ne sont pas reproduites dans les fractions solubles. Ce constat pourrait tenter d'être expliqué de deux façons :

- La matrice fromagère joue un rôle sur les perceptions gustatives comme l'a montré Salles et al. (Salles et al. 2005) sur le camembert pour lequel il explique que l'évolution de perceptions gustatives serait due à un effet de la structure de la matrice, soumise à des changements biochimiques (protéolyse, lipolyse) au cours de l'affinage. Dans notre cas, la matrice évolue pour laquelle des réarrangements se font au niveau de la macrostructure mais qui ne se répercutent pas au niveau de la fraction soluble.
- Le salé perçu de manière très intense dans la fraction soluble modifie les perceptions des autres saveurs

En complément de ces résultats, une ACP a été réalisée sur l'ensemble des 3 stades de commercialisation pour le fromage SA, les résultats sont représentés sur la figure 34. Les deux premiers axes représentent 99% de l'information totale. Le premier axe (69%) décrit le degré d'intensité de salé et de piquant, ce qui caractérise deux fromages à froid en positif (Saf-S2 et SAF-S3) et un fromage à chaud en négatif (SAc-S2). L'axe 2 (30%) décrit le degré d'intensité de l'amertume et de l'acidité, ce qui caractérise les fromages SAc\_S1 et SAF\_S1 en positif et SAc\_S3 en négatif. Cette représentation ne permet pas d'identifier réellement un impact de la température sur les propriétés gustatives des fractions solubles. Elle montre également que les profils gustatifs des fractions solubles évoluent selon le stade de commercialisation tout comme ceux des fromages entiers.

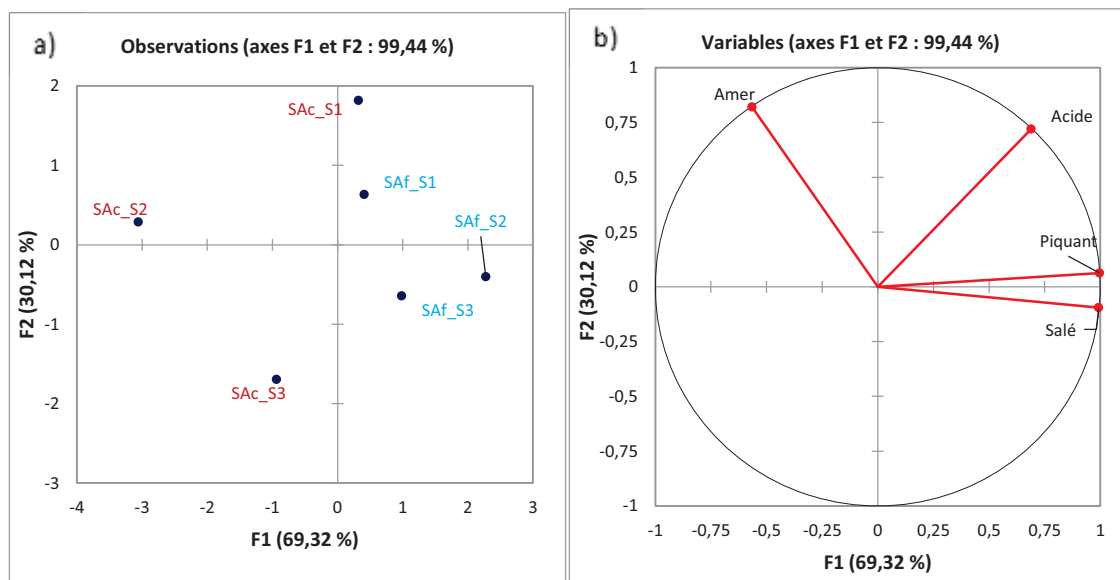


Figure 34 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les données des fractions solubles à froid et à chaud (f = froid; c = chaud) S1 = 35 jours ; S2 = 56 jours et S3 = stade à 77 jours

### 2.5.3. Effet du chauffage sur la composition biochimique des fromages entiers et des fractions solubles du fromage SA

#### 2.5.3.1. Composition biochimique des fromages entiers

##### 2.5.3.1.1. Profil biochimique global des fromages entiers SA (à froid)

Dans la littérature, peu de données sur l'étude de la composition chimique des fromages à pâte persillée et plus particulièrement de la Fourme d'Ambert sont disponibles (Lawlor et al. 2003; Jacquot et al. 2014). Cette analyse a ainsi apporté des éléments sur la composition de la Fourme d'Ambert. Le tableau 26 montre les moyennes et les écart-types pour les différents éléments physico-chimiques (matière sèche (MS), matière grasse, pH, azote total (NT) et soluble (NS),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}^+$ ) réalisés sur les fromages à froid SA au cours des 3 stades de commercialisation.

Tableau 26 : Moyennes et écarts-types des paramètres physico-chimiques de la Fourme d'Ambert SA à froid en fonction du stade de commercialisation ( $T=20^\circ\text{C}$ ). S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours et S3 = stade à 77 jours

Stade	pH	MS	Matières grasses	NT	NS/NT	Cl <sup>b</sup>	Na <sup>b</sup>	Ca <sup>b</sup>	Mg <sup>b</sup>	K <sup>b</sup>	P <sup>b</sup>
SA_S1	5,92±0,03	53,53±0,02	3,26±0,03	52,62±0,29	51,62±0,95	35,48±0,13	16,51±0,03	8,49±0,18	0,42±0,01	1,34±0,04	7,00±0,08
SA_S2	6,25±0,05	53,90±0,03	3,18 ±0,03	53,50±0,54	57,89±0,64	34,46±0,26	18,10±0,36	8,61±0,38	0,40±0,00	1,14±0,08	7,35±0,02
SA_S3	6,53±0,06	52,34±0,01	3,14±0,01	54,56±0,29	62,67±1,18	34,35±0,24	17,95±0,05	8,95±0,33	0,43±0,02	1,23±0,00	7,37±0,09

Les valeurs correspondent à la moyenne des 3 répétitions effectuées par stade.

MS\_From = matière sèche du fromage entier ; NT= Azote total ; NS/NT = ratio azote soluble/azote total

a = exprimée en g/100g de fromage

b= exprimé en g/Kg sur matières sèches

A 35 jours, la valeur de la matière sèche est de 53,5g/100g, valeur proche de celle identifiée dans d'autres fromages à pâte persillée (Gobbetti et al. 1998; Jacquot et al. 2014). Les quantités de protéines et de matières grasses sont également équivalentes aux données identifiées dans la littérature sur des fromages similaires. La valeur obtenue pour la quantité de protéines est de 20,8% de protéines (ou 38,8% de protéines sur matières sèches), valeur proche de celle trouvée par Muir et al. (1995) pour le Gorgonzola et légèrement plus haute que pour le fromage Valdeón (Diezhandino et al. 2015). Pour la quantité de matières grasses, la valeur observée est 28% de matières grasses sur fromage frais, valeur très proche de celle mesurée par (Jacquot et al. 2014). Toujours dans cette même étude, la Fourme d'Ambert présente une teneur en matières grasses légèrement plus faible en comparaison avec le Bleu d'Auvergne. De légères différences sont également visibles avec d'autres types de fromages à pâte persillée pour lesquelles les valeurs oscillent entre 29,7% et 32,4% (Lawlor et al. 2003). Ces différences de composition observées dans les autres types de fromages à pâte persillée sont probablement en lien avec le processus technologique ainsi que le ratio gras/protéine contenu dans le lait. En ce qui concerne les teneurs en minéraux, les résultats semblent aussi cohérents avec la littérature (Prieto et al. 2000). Plus spécifiquement, la quantité de Na est de 16,5g/Kg sur matières sèches, valeur légèrement plus haute en comparaison de celle identifiée par Prieto dans le Picón Bejes-Tresviso au bout de 15 jours d'affinage. La teneur en Ca, en Cl, Mg K et P sont respectivement de 8,49g/Kg de matières sèches, de 35,5g/Kg, 0,4g/Kg, 1,34g/Kg et 7g/Kg. Ces valeurs sont proches de celles identifiées pour la Fourme d'Ambert par Jacquot et al (2014) et plus globalement, ces valeurs sont également comparables à celles identifiées pour d'autres fromages à pâte persillée par Lawlor et al (2003).

### 2.5.3.1.2. Effet du chauffage sur les composés biochimiques des fromages entiers

Le tableau 27 donne les moyennes et écarts-types sur les différents paramètres physico-chimiques réalisés à froid et à chaud sur les fromages entiers.

Tableau 27 : Moyennes et écarts-types des paramètres physico-chimiques des fromages FA en fonction du stade de commercialisation et des conditions de température (f = froid ; 20°C et c = chaud ; 200°C) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours et S3 = stade à 77 jours

Types Fromages	pH	MS <sup>a</sup>	Matières grasses <sup>b</sup>	NT <sup>b</sup>	NS / NT <sup>b</sup>	Cl <sup>b</sup>	Na <sup>b</sup>	Ca <sup>b</sup>	Mg <sup>b</sup>	K <sup>b</sup>	P <sup>b</sup>
SAf_S1	5,92±0,03	53,53±0,02	52,62±0,29	3,26±0,03	51,62±0,95	35,48±0,13	16,51±0,03	8,49±0,18	0,42±0,01	1,34±0,04	7,00±0,08
SAC_S1	6,05±0,00	59,00±0,01	53,25±0,24	3,57±0,03	31,04±0,41	32,48±0,11	19,38±0,10	8,95±0,22	0,39±0,01	1,84±0,01	7,06±0,03
SAf_S2	6,25±0,05	53,90±0,03	53,50±0,54	3,18±0,03	57,89±0,64	34,46±0,26	18,10±0,36	8,61±0,38	0,40±0,00	1,14±0,08	7,35±0,02
SAC_S2-	6,55±0,00	58,02±0,02	54,01±0,23	3,49±0,04	38,06±0,55	34,17±0,01	19,86±3,34	9,27±0,66	0,65±0,04	1,82±0,04	7,05±0,14
SAf_S3	6,53±0,06	52,34±0,01	55,56±0,29	3,14±0,01	62,67±1,18	34,35±0,24	17,95±0,05	8,95±0,33	0,43±0,02	1,23±0,00	7,37±0,09
SAC_S3	6,98±0,03	56,10±0,03	54,37±0,03	3,29±0,02	50,83±0,57	33,35±0,33	17,46±0,37	9,07±0,24	0,42±0,01	1,8±0,04	7,17±0,12
Effet température	***	***	***	***	***	***	NS	*	***	***	*
Effet stade	***	***	***	***	***	***	NS	NS	***	***	***
Effet température *stade	***	***	***	***	***	***	NS	NS	***	*	*

Les valeurs correspondent à la moyenne des 3 répétitions effectuées par stade et par condition de température.

\*, \*\*, \*\*\* significatif à p<0,05 ; 0,01 et 0,001 et NS = Non Significatif

MS = matière sèche du fromage entier ; NT = azote total ; NS/NT = ratio azote soluble/azote total

a = exprimée en g/100g de fromages

b = exprimé en g/Kg sur matières sèches

L'analyse de variance à 2 facteurs (température et stade) avec interaction montre que les conditions de température ont un effet significatif (p<0,05) sur la plupart des composés biochimiques hormis le sodium, et ce malgré des écarts assez faibles entre les différents stades et les conditions de traitement. Avec la chaleur, les teneurs en calcium, en chlorure, et en phosphate diminuent très légèrement respectivement de 4%, 4% et de 1.4%. En revanche, cette diminution est plus importante pour les teneurs en potassium et magnésium, respectivement de -33% et -20%.

Une interaction stade\*température est également observée pour l'ensemble de ces paramètres, ce qui indique que la température influe différemment sur les composés selon les stades de commercialisation. La figure 35 représente l'ACP réalisée sur les paramètres physico-chimiques issus des fromages entiers. Les deux premiers axes représentent 74% de l'information totale. L'axe 1 est décrit positivement par l'azote total, la matière sèche et le potassium et négativement par l'azote soluble, le ratio NS/NT et le Cl. L'axe 1 oppose les fromages froids aux fromages chauds pour lequel la matière sèche pourrait notamment expliquer cette différence (diminution de 8%). L'axe 2, est quant à lui, décrit positivement par le phosphate et s'oppose à la matière grasse, au pH, aux minéraux Mg, Ca et Na. Cet axe traduit l'évolution des stades de commercialisation pour lequel le pH pourrait expliquer ces évolutions.

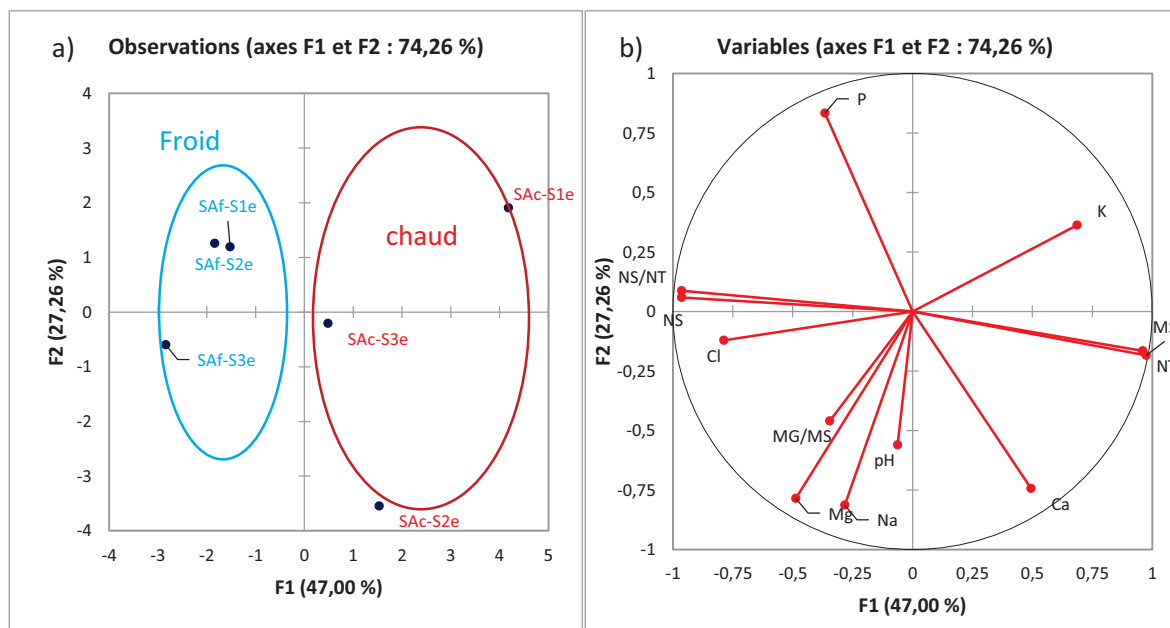


Figure 35 : Représentation fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les paramètres physico-chimiques des fromages entiers à froid et à chaud (f = froid, 20°C ; c = chaud, 200°C) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours et S3 = stade à 77 jours ; MS = matière sèche ; MG = matière grasse ; NT = azote total ; NS = azote soluble

Avec ces éléments, il semble difficile d'expliquer cet effet température. Toutefois, une différence selon les deux conditions de température existe.

### 2.5.3.2. Effet du chauffage sur les fractions solubles

#### 2.5.3.2.1. Profil chimique global des fractions solubles SA

De la même façon que les fromages entiers, la composition des fractions solubles a été analysée sur les mêmes éléments : matières sèches, matières grasses, pH, azote totale et soluble,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{P}^+$ ). Les moyennes obtenues ont été réalisées sur les 3 répétitions et sont exprimés en gramme par kilogramme de matière sèche (de fromage), exceptés l'azote total et soluble qui sont exprimés en g/100g de fromage frais. Les résultats sont affichés dans le tableau 28.

Tableau 28 : Moyennes et écarts-types des paramètres physico-chimiques des fractions solubles issues du fromage SA à froid en fonction du stade de commercialisation ( $T=20^\circ\text{C}$ ). S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours et S3 = stade à 77 jours

Stade	pH	MS_From	NT	NS/NT	Cl <sup>a</sup>	Na <sup>a</sup>	Ca <sup>a</sup>	Mg <sup>a</sup>	K <sup>a</sup>	P <sup>a</sup>
SA_S1	6,05±0,00	53,53±0,02	0,46±0,00	90,76±0,26	12,89±0,05	7,27±0,49	1,64±0,05	0,12±0,00	0,48±0,01	1,04±0,04
SA_S2	6,35±0,00	53,90±0,03	0,65±0,01	90,62±1,04	13,21±0,03	7,55±0,33	1,26±0,03	0,12±0,00	0,53±0,02	1,57±0,20
SA_S3	7,22±0,03	52,34±0,01	0,69±0,00	98,31±0,64	13,01±0,03	7,22±0,69	1,03±0,06	0,12±0,01	0,56±0,04	1,33±0,08

Les valeurs correspondent à la moyenne des 3 répétitions effectuées par stade.

MS\_From = matière sèche du fromage entier ; NT= azote total ; NS/NT = ratio azote soluble/azote total

a = exprimée en g/100g de fromage

b = exprimé en g/Kg sur matière sèche du fromage entier

D'après la littérature, la composition de la fraction soluble est exprimée avec des unités différentes (g/Kg de MS du fromage ou g/Kg de fromage), nous avons choisi de les exprimer en g/Kg de matière sèche de fromage. A 20°C, la teneur des minéraux de la fraction soluble des fromages SA se

compose de la façon suivante : 12,9 g/Kg de Cl, 7,3 g/Kg de Na, 1,64g/Kg de Ca, 0,12 g/kg, 0,48g/Kg et 1,1g/Kg de P. Comme pour les autres fromages étudiés dans la littérature (Taborda et al. 2003; Andersen et al. 2010) le sodium et les chlorures sont présents en plus grande quantité. En contraste, les teneurs de calcium, de magnésium, de phosphate et de potassium sont inférieures à 2g/Kg de MS. Salles et al. (2000) identifient des teneurs de même ordre de grandeur pour les mêmes composés dans le fromage de chèvre. La quantité de Cl et de Na est plus importante dans les fromages à pâte persillée, ce qui peut s'expliquer par la technique de salage. En revanche, Taborda et al. (2003) observent une quantité de minéraux (Cl, Ca et P) de 26 g/Kg de MS dans le fromage Cabrale (fromage à pâte persillée espagnol) et seulement de 12,1g/Kg de MS pour le fromage de chèvre. Pour la Fourme d'Ambert, la teneur en minéraux s'élève à 15,2 g/Kg de MS, valeur plus faible que celle observée dans le fromage Cabrale. Si on se réfère aux données obtenues par Engel et al (2000), ils obtiennent une quantité en teneurs en minéraux (Na, K, Ca, Mg et Cl) égale à 18,1g/Kg dans les fromages de chèvre et de 19,8g/Kg de minéraux dans le camembert (Engel et al. 2001b). Pour les fromages à pâte persillée, cette quantité totale de minéraux s'élève en moyenne à 13,2 g/Kg de fromage. Cette différence peut être en lien avec le procédé technologique, entre autres du fait de la coagulation, du type de souche utilisée mais aussi selon les conditions de salage.

Pour compléter l'analyse des fractions solubles, les teneurs en peptides, d'acides aminés et d'acide lactique sont généralement analysées, ce qui permet de bien identifier les proportions de chaque constituant dans les fractions solubles ce que nous n'avons pas envisagé dans cette fraction soluble. Engel et al. (2000a) identifient en faible quantité (0,77 g/Kg de fromage) la présence de lipides contrairement à nos résultats où aucune trace de matières grasses n'est détectée. Ce résultat peut s'expliquer par la technique d'analyse utilisée (chromatographie sur couches minces couplée à une détection FID) plus sensible que la méthode acido-butyrométrique ou par la méthode d'extraction utilisée.

### 2.5.3.2.2. Effet du chauffage sur les composés biochimiques des fractions solubles

Le tableau 29 montre les moyennes et les écarts-types issus des différents paramètres physico-chimiques réalisés sur les fractions solubles selon les deux conditions de traitements et le stade de commercialisation. Ce même tableau synthétise la significativité des différentes ANOVAs réalisées sur les principaux facteurs (température et stade de commercialisation) ainsi que l'interaction stade\*température.

Tableau 29 : Moyennes et écarts-types des paramètres physico-chimiques des fractions solubles issues du fromages SA en fonction du stade de commercialisation et des conditions de température. (f = froid ; 20°C et c = chaud ; 200°C) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours et S3 = stade à 77 jour

Paramètres	pH	MS_From	TN <sup>a</sup>	WSN/TN <sup>a</sup>	Cl <sup>b</sup>	Na <sup>b</sup>	Ca <sup>b</sup>	Mg <sup>b</sup>	K <sup>b</sup>	P <sup>b</sup>
SAf_S1	6,05±0,00	53,53±0,02	0,46±0,00	90,76±0,26	12,89±0,05	7,27±0,49	1,64±0,05	0,12±0,00	0,48±0,01	1,04±0,04
SAc_S1	6,10±0,00	59,00±0,01	0,40±0,00	98,83±0,76	11,79±0,02	7,37±0,54	1,52±0,02	0,10±0,00	0,55±0,06	1,34±0,07
SAf_S2	6,35±0,00	53,90±0,03	0,65±0,01	90,62±1,04	13,21±0,03	7,55±0,33	1,26±0,03	0,12±0,00	0,53±0,02	1,57±0,20
SAc_S2	6,55±0,00	58,02±0,02	0,52±0,00	96,85±0,38	13,61±0,02	8,63±0,33	1,59±0,04	0,09±0,00	0,67±0,01	1,87±0,12
SAf_S3	7,22±0,03	52,34±0,01	0,69±0,00	98,31±0,64	13,01±0,03	7,22±0,69	1,03±0,06	0,12±0,01	0,56±0,04	1,33±0,08
SAc_S3	6,93±0,03	56,10±0,03	0,56±0,00	102,31±0,04	12,11±0,05	6,05±0,71	1,29±0,13	0,09±0,01	0,74±0,16	1,78±0,13
Effet Température	NS	***	***	***	***	*	**	NS	NS	NS
Effet Stade	***	***	***	***	***	***	***	NS	*	***
Effet Stade*Température	***	***	***	***	***	*	**	NS	NS	NS

Les valeurs correspondent aux 3 répétitions effectuées par stade et par condition de température. \*, \*\* ; \*\*\* significatif à  $p < 0,05$  ; 0,01 et 0,001 NS : Non Significatif

MS\_From = matières sèches du fromage entier ; NT = Azote totale ; NS/NT = ratio azote soluble/azote total

<sup>a</sup> = exprimée en g/100g de fromages

<sup>b</sup> = exprimé en g/Kg sur matières sèches de fromage

De manière globale, la température ( $p < 0,05$ ) a un impact significatif sur la solubilisation des teneurs en éléments de composition : la matière sèche, azote totale et soluble, chlorure, calcium, phosphore et potassium. Ces différents éléments changent dans la fraction soluble selon qu'elle est froide ou qu'elle a été chauffée. Notons par exemple, que la teneur globale en calcium, en potassium et en phosphate augmente respectivement de 15%, 31% et 40% avec la chaleur. La matière sèche augmente seulement de 8%. En revanche, la teneur en chlorure diminue de -4% avec la chaleur. Ces modifications sont différentes de celles observées dans le fromage entier.

Cependant des interactions stade\*température sont également observées. Ces interactions montrent que la température n'agit pas de la même façon selon les stades notamment pour le pH, les matières sèches, l'azote total, le ratio NS/NT, le sodium, le calcium.

Pour avoir une vision plus globale de ces différents éléments biochimiques, une ACP a été réalisée (figure 36). Cette analyse montre clairement la distinction entre les fractions solubles selon la température mais aussi selon le stade de commercialisation.



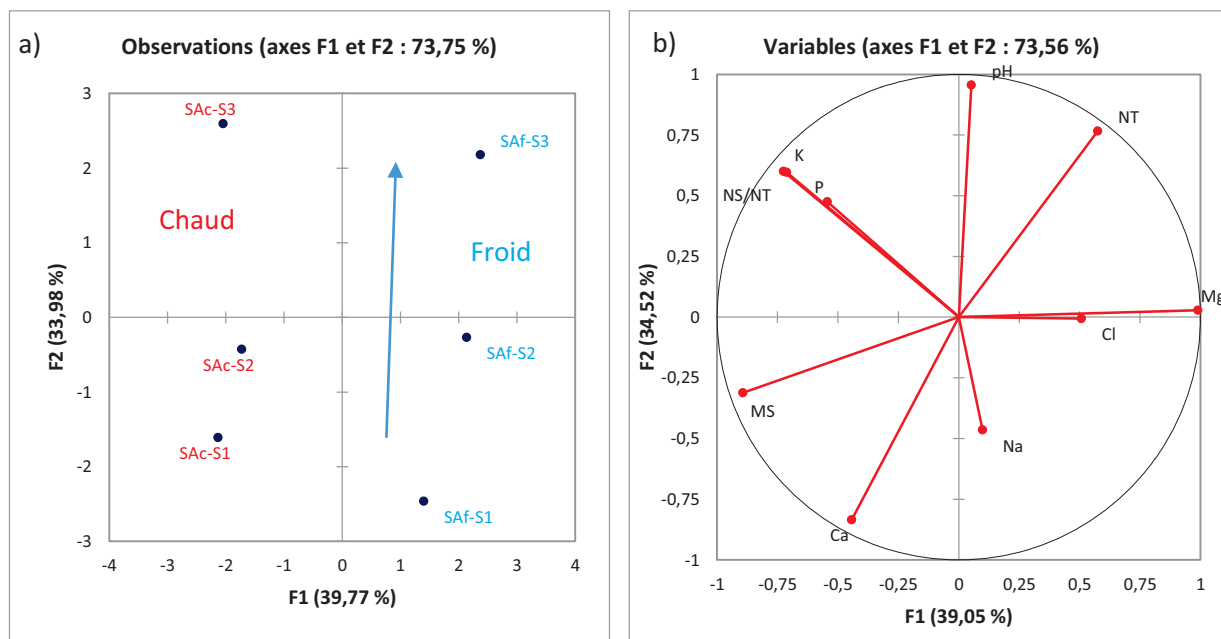


Figure 36 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les paramètres physico-chimiques des fractions solubles à froid et à chaud. f = froid ; c = chaud ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours. MS = matière sèche ; NT = azote total ; NS = azote soluble

L'axe 1 (40%) représente en positif la teneur en Mg, Cl et en négatif les teneurs en K, P, la matière sèche et le ratio NS/NT (d'après les contributions et coordonnées issues de l'ACP) et pourrait participer à expliquer la différence entre les deux conditions de traitement.

L'axe 2 est plutôt est un axe synthétisant l'effet stade. Un gradient est visible sur la représentation graphique en lien avec le pH et explique les 3 stades d'évolution des fromages. La quantité de calcium, de sodium et la teneur en azote total contribuent à la formation de cet axe.

Le chauffage permet la fonte des globules gras, qui se présentent sous une forme cristalline aux alentours de 40°C, ce qui contribue à une mobilité intermoléculaire due à une diminution du nombre de liaisons effectives. En parallèle, la matrice de para-caséine qui peut se définir par un ensemble d'interactions (interactions hydrophobiques, ioniques, électrostatiques, liaison hydrogène) détermine les propriétés structurales du fromage. Durant le chauffage, à une température donnée, ces interactions sont affectées et tendent généralement à une diminution de la force des liaisons totales de la matrice de para-caséine (Lucey et al. 2003). Cette déstructuration et la création de nouvelles liaisons peuvent affecter la mobilité et la disponibilité des ions présents dans la matrice qui de ce fait pourraient passer dans la fraction soluble des fromages.

Par ailleurs, la quantité de calcium diminue (-20%) avec l'évolution des stades. Une étude menée sur la composition des jus de Camembert (extrait par un pressage hydraulique) montre l'évolution des matières azotées et des différents minéraux sur les 16 premiers jours d'affinage. Les résultats montrent notamment que le calcium dans le jus de camembert diminue avec l'affinage (16 jours) dû à une précipitation des sels de calcium à la surface du fromage (Boutrou et al. 1999). Une tendance similaire est observée dans les fractions solubles malgré de faibles variations. Ces légères

différences peuvent s'expliquer par le fait que les fromages analysés ont un âge avancé pour lequel les migrations de minéraux sont moins importantes qu'en début d'affinage.

Malgré des différences statistiques observées sur des faibles écarts, une séparation distincte entre les fractions solubles selon les deux conditions de température sont observées. Toutefois, les éléments de composition analysés ne permettent pas réellement d'expliquer cette différence. Il serait donc intéressant d'élargir le profil biochimique des fromages entiers et des fractions solubles en étudiant d'autres éléments comme certains acides organiques ou acides gras. Dans une étude comme celle menée par Lawlor et al. (2003) sur six variétés de fromages à pâte persillée, l'analyse des acides gras libres montrent des profils différents selon le type de fromages à pâte persillée. Le Bleu d'Auvergne révèle une teneur en acide butyrique et hexanoïque assez importante par rapport aux autres fromages testés. Ces deux acides ont pu être reliés à l'arôme « moisi ». L'acide lactique serait également un indicateur supplémentaire pour tenter d'expliquer l'acidité dans les fractions solubles même si la corrélation entre l'acidité et l'acide lactique n'est pas toujours mise en évidence (Biede and Hammond 1979). Par ailleurs, l'analyse d'autres éléments comme les peptides ou les acides aminés pourrait être envisagés. D'après Engel et al. (2001b) la fraction soluble du camembert obtenue juste après centrifugation contient 85,4% de peptides et 4,8 d'acides aminés. Ils montrent le rôle de ces peptides et acides aminés dans la perception gustative des fractions solubles. Quant à Lawlor et al. (2003), ils montrent que le Bleu d'Auvergne est l'un des fromages à pâte persillée qui contient le plus de tyrosine, acide aminé connu pour son amertume (Kato et al. 1989).

#### 2.5.4. Relation entre les perceptions gustatives et des éléments biochimiques de la fraction soluble SA en lien avec le traitement thermique

La figure 37 montre les relations entre variables sensorielles et physico-chimiques issues des fractions solubles.

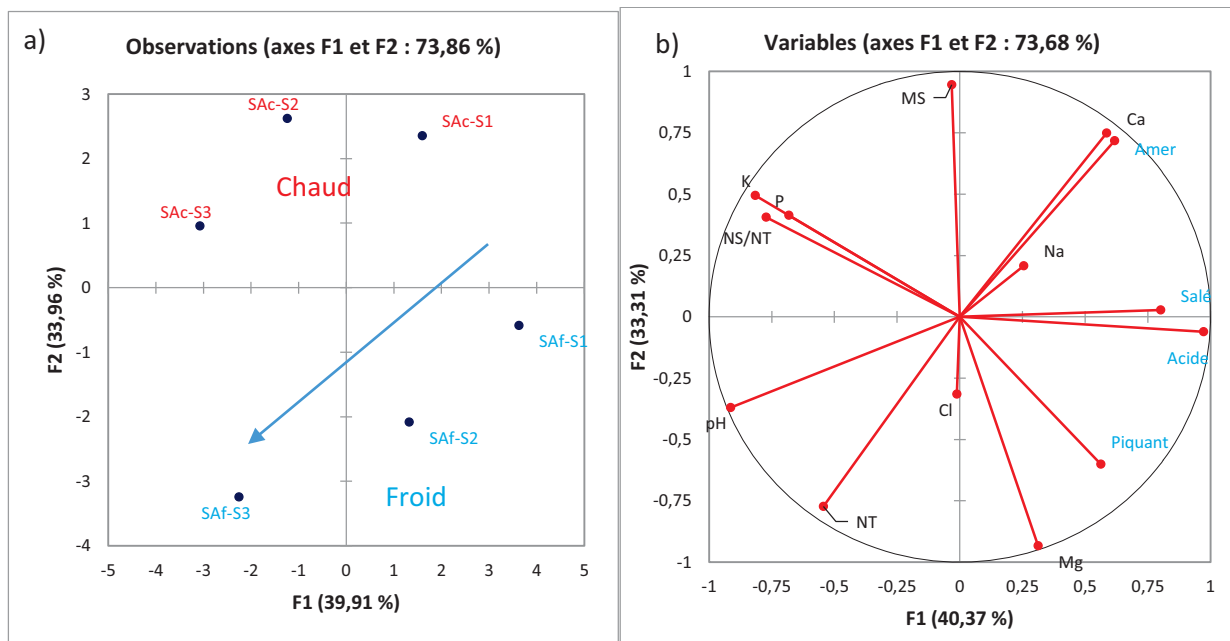


Figure 37 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les paramètres physico-chimiques et gustatifs des fractions solubles à froid et à chaud f = froid ; c = chaud ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours ; MS = matière sèche, NT = azote total ; NS = asote soluble

L'observation de cette représentation montre une nette séparation entre les différents stades de commercialisation par l'axe 1 (40,37%) qui oppose les stades sur un gradient de salé et d'acide. En revanche, l'axe 2 est décrit positivement avec la matière sèche, le Ca et le descripteur amer et négativement avec l'azote total et le Mg. Cet axe 2 oppose les fromages froids aux fromages chauds. D'après cette représentation globale, l'effet du chauffage sur les fractions solubles semble être essentiellement lié à des paramètres de composition tandis que les paramètres sensoriels auraient tendance à expliquer plus facilement les stades de commercialisation que l'effet du chauffage. Par ailleurs, très peu de relations sont observées entre la composition chimique et les perceptions sensorielles étudiées.

Cette perception salée, dominante dans la fraction soluble, peut être principalement liée aux ions  $\text{Na}^+$ . Dans le camembert, la perception salée est bien provoquée par le chlorure de sodium (Engel et al. 2001b). D'après la matrice de corrélation, cette relation n'est pas observée ( $r = -0.19$ ). D'autres auteurs montrent que selon le type de fromages, la perception salée pourrait provenir d'autres minéraux comme le chlorure de magnésium et de calcium comme pour le fromage de chèvre pour lequel l'addition de sels de sodium, de potassium, de calcium et de magnésium contribue à la perception salée. Ici, aucune relation n'a pu être observée. L'amertume, qui est la deuxième saveur

dominante dans les fractions solubles, est corrélée positivement avec le calcium ( $r = 0.91$ ) et négativement avec l'azote total ( $r = -0.78$ ). La concentration de calcium peut en effet avoir un rôle sur la perception amère (Mcsweeney 1997). Dans le cas des fromages de chèvre jeunes (Engel et al. 2001b), un rôle prédominant des chlorures de magnésium et de calcium a été démontré sur la perception amère par rapport aux camemberts pour lesquels la concentration de calcium dans la fraction soluble est en effet plus faible.

Concernant l'acidité, une corrélation négative est observée avec le pH ( $r = -0.87$ ). L'acidité provient généralement des ions  $H_3O^+$  (pH) mais il n'est pas le seul facteur explicatif de l'acidité. Les travaux d'Engel et al (2000) sur le fromage de chèvre montrent un effet exhausteur du chlorure de sodium sur la perception acide. La méthodologie utilisée ne permet pas de déterminer l'effet synergique de ces ions sur les saveurs (Salles et al, 1995). Sur le piquant, aucune relation avec les données physico-chimiques n'a pu être établie.

## 2.6. CONCLUSION

L'originalité de notre étude s'est basée sur la caractérisation gustative de la fraction soluble à chaud. Cette deuxième expérimentation a permis de mettre en évidence la contribution relation de la fraction soluble à froid dans la perception gustative des fromages à pâte persillée. Les saveurs salée, amère et acide ainsi que la sensation piquante sont bien identifiées dans la fraction soluble pour laquelle les notes acide et piquante sont plus intenses dans la fraction soluble que dans le fromage entier. Ces résultats confirment ceux identifiés pour d'autres fromages concernant la contribution de la fraction soluble sur la perception gustative. A chaud, il ressort que la fraction soluble présente toujours un profil gustatif identique à celui de la fraction soluble à froid. En comparaison avec les fromages entiers pour lesquels un effet de la température est observé pour l'amertume et l'acidité, ce phénomène ne se répercute pas au niveau des fractions solubles. Les différences sensorielles observées au niveau des fromages entiers seraient ainsi plus liées à un effet de la matrice qu'à la teneur en composés solubles.

Les analyses biochimiques réalisées sur les fractions solubles à froid et à chaud ont permis de rechercher si les effets thermiques mesurés sur les perceptions gustatives étaient en lien avec la composition biochimique des fractions. Les paramètres classiques (matières sèches, grasses, protéines, pH) ont été mesurés ainsi que certains minéraux (Ca, P, Cl, K, Mg), connaissant leur participation à l'expression des propriétés gustatives. Globalement, l'effet du chauffage a pu être mis en évidence et diffère selon le stade de commercialisation notamment pour certains minéraux (calcium, sodium et chlorure). Toutefois même si des différences statistiques ont été observées selon les conditions de température, les éléments biochimiques étudiés ne nous permettent pas d'expliquer ce phénomène. De plus, cette modification biochimique entre les deux fractions ne se répercute pas

au niveau sensoriel selon les conditions de température. La mise en relation de ces données avec celles des données sensorielles n'a pas pu réellement mettre en avant un lien significatif, et ce malgré une relation entre le calcium et la perception d'amertume à chaud. Toutefois, ces modèles statistiques sont créés à partir de combinaisons linéaires et identifient seulement une tendance sans prendre en compte la physiologie de l'individu ni les interactions éventuelles entre les saveurs. Ces résultats montrent aussi que ces faibles modifications de la composition n'ont pas été perceptibles par le panel. En effet, les différences ne sont pas assez grandes pour que le panel puisse les détecter. Les perceptions ne répondent pas à une loi linéaire de proportionnalité avec les concentrations chimiques. Il existe des paliers et des seuils de perceptions qui sont variables selon les matrices étudiées (Thébaud 2012). Par ailleurs de nombreuses interactions inter-modalités sensorielles peuvent également influencer les perceptions gustatives. D'autres hypothèses comme le rôle masticatoire ou les effets de la salive sur la libération des composés sapides et aromatiques pourraient être à envisager. En effet, la salive sert de solvant pour dissoudre les composés solubles leur permettant ainsi d'accéder aux récepteurs gustatifs.

Si nous n'avons pas pu expliquer l'effet du chauffage par l'étude des fractions solubles, tant au niveau biochimique que sensoriel, ces résultats semblent encourageants et pourraient nécessiter des analyses complémentaires et approfondies par l'étude d'autres éléments comme l'analyse d'acides organiques, de peptides et/ou d'acides aminés. Il serait également intéressant de compléter ce travail sur l'effet du chauffage en étudiant la macrostructure de la matrice au moyen d'analyses spectrales et d'imagerie.

## **PARTIE 3 : IMPACT DU CHAUFFAGE SUR LA PERCEPTION ET LES PREFERENCES DES CONSOMMATEURS VIS-A- VIS DES FROMAGES A FROID ET A CHAUD**

### **1.OBJECTIFS**

Après une approche descriptive et analytique de l'effet du chauffage sur la Fourme d'Ambert, l'approche hédonique va être abordée. De ce fait, cette partie a pour objectif de définir les préférences des consommateurs vis-à-vis des fromages à froid et des fromages à chaud et d'expliquer leurs choix avec différents éléments d'ordre sensoriel, textuel, attitudinal et comportemental.

Après une segmentation réalisée sur les préférences globales, plusieurs critères/informations, issus du questionnaire de dégustation, du questionnaire déclaratif et du profil sensoriel ont été mis en relation pour tenter d'expliquer les choix gustatifs de chaque groupe de consommateurs.

**La première approche** a consisté à expliquer les préférences des consommateurs au moyen de descripteurs sensoriels. Pour cela, une cartographie des préférences externe a été réalisée.

**Une seconde approche** s'est basée sur l'utilisation des termes (toujours sensoriels mais qualitatifs) verbalisés par les consommateurs pour identifier les qualités et défauts de chaque fromage. Une analyse syntaxique a permis d'extraire les qualités et les défauts les plus fréquemment cités afin de pouvoir les positionner et les relier avec les différents fromages testés et les groupes de consommateurs.

Enfin, **la dernière approche** a été de faire le lien entre les différentes variables du questionnaire déclaratif en rapport avec d'une part leurs attentes vis-à-vis des fromages à pâte persillée utilisée à froid ou à chaud, d'autre part leurs attirances alimentaires vis-à-vis des aliments ayant une dominance gustative prononcée et enfin avec leur comportement d'achat sur les fromages en général et de certains aliments.

L'analyse de ces différents critères descriptifs, qualitatifs, comportementaux et socio-démographiques a permis de mesurer l'intérêt de l'apport complémentaire de ces éléments pour comprendre le choix gustatif des groupes de consommateurs identifiés et d'avoir un positionnement vis-à-vis des fromages à pâte persillée dégustés à froid et à chaud.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. LES FROMAGES TESTES

Les mêmes fromages issus de l'étude précédente ont été analysés pour l'étude des préférences soit 2 types de fourmes SA et SB à 3 stades de commercialisation. L'ensemble de ces fromages a été testé selon deux conditions de température (tableau 30):

- Condition à froid : les fromages n'ont pas subi de traitement thermique (chauffage). Ils sont servis et dégustés à température ambiante ( $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ).
- Condition à chaud : les fromages sont chauffés pendant 4 minutes à  $200^{\circ}\text{C}$  (température représentative des usages des consommateurs) et sont dégustés à  $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Au total, 4 échantillons de fromages issus du même lot de fabrication ont été testés pour chaque stade de commercialisation.

Tableau 30: Caractéristiques des fromages testés par session au cours du test consommateurs

Sessions	Stade de commercialisation	Types de fromages	Condition de température
1	35 jours –S1	SA	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$
		SB	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$
2	56 jours- S2	SA	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$
		SB	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$
3	77 jours-S3	SA	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$
		SB	$20^{\circ}\text{C} / 200^{\circ}\text{C}$

### 2.2. TEST CONSOMMATEURS

#### 2.2.1. Panel de consommateurs

Pour recruter les consommateurs, un questionnaire de présélection a été envoyé à 200 consommateurs issus de la base panel de VetAgro Sup dans l'objectif de constituer un panel final de 150 personnes. Les consommateurs ont été sélectionnés selon trois critères : (1) être consommateur de fromages à pâte persillée, (2) être consommateur de fromages chauffés (utilisés dans des préparations chaudes), (3) être présents aux trois séances d'évaluation. Suite à ce questionnaire, 162 consommateurs naïfs ont été retenus sur ces critères pour participer à l'ensemble des sessions.

### 2.2.2. Questionnaires

Au cours de cette étude, plusieurs questionnaires ont été administrés pour recueillir différentes informations:

- Questionnaire de dégustation (annexe 2)

Afin de mesurer les préférences des consommateurs, des questions d'appréciations concernant le visuel et l'appréciation globale (en bouche) ont été posées. Leurs appréciations ont été reportées sur une échelle linéaire continue de 10 cm allant de 0 (je n'aime pas du tout) à 10 (j'aime beaucoup) (Hein et al. 2008; Lim 2011). Quatre questions supplémentaires ont été posées concernant l'intensité des perceptions gustatives (amer, acide, salé et piquant) des échantillons pour étudier par la suite le lien avec l'appréciation globale (Menichelli et al. 2013). De la même façon, l'échelle linéaire non structurée sur l'intensité des saveurs a été utilisée. A la fin du questionnaire, deux questions ouvertes (facultatives) ont également été posées. 3 qualités et 3 défauts devaient être cités (au maximum) pour chaque fromage dégusté.

- Questionnaire sur le comportement, les attentes et les usages des fromages par les consommateurs et leurs attirances alimentaires (annexe 3)

Au cours de la session 3, un questionnaire en lien avec les habitudes de consommation des consommateurs, leurs attentes et leurs attirances alimentaires a été administré. Ce questionnaire créé avec « Google docs » a été divisé en 3 parties :

- La première partie était consacrée au comportement des consommateurs vis-à-vis des fromages en général et leurs attentes vis-à-vis des fromages à pâte persillée. Cette partie a regroupé les questions sur les thèmes suivants : fréquence de consommation de fromages, choix et attentes vis-à-vis des fromages dans les préparations culinaires à chaud et à froid.
- La deuxième partie visait à mesurer les attirances (déclarées) et la fréquence de consommation des consommateurs concernant différents types d'aliments ainsi que leur perception gustative pour ces mêmes types d'aliments. Les aliments cités ont été choisis selon leurs dominances gustatives : salée, amère, acide et piquante (jugées a priori).
- La dernière partie concernait les données sociodémographiques comportant 6 questions : sexe, âge, statut marital, profession, niveau d'éducation et revenu par foyer.

### 2.2.3. Déroulement et organisation des séances

Les séances de dégustation se sont déroulées au sein du laboratoire d'évaluation sensorielle de VetAgro Sup. Trois sessions de dégustation ont été planifiées et étalées sur 7 semaines (de début juin 2013 jusqu'à fin juillet 2013) selon les 3 stades de commercialisation.

Pour chaque session, le questionnaire de dégustation a été administré à chaque consommateur pour recueillir leurs appréciations. A la fin de la session 3, le questionnaire en lien avec le comportement,



les habitudes alimentaires, les préférences alimentaires et un questionnaire sociodémographique ont été distribués aux consommateurs (figure 38).

Lors d'une même séance correspondant à un même stade de commercialisation, les consommateurs ont évalué 4 fromages : les 2 fromages à chaud en premier puis après une pause de 5 minutes, les 2 fromages à froid. Les fromages ont été présentés en monadique séquentiel selon un plan de présentation randomisé. Les fromages ont été préparés comme indiqué dans le chapitre 3 – « Considérations méthodologiques ». Entre chaque échantillon de fromage, les consommateurs ont fait une pause d'une minute, en se rinçant la bouche avec de l'eau (Evian®) et en mangeant un morceau de pomme.

En parallèle des tests hédoniques, les profils sensoriels ont été organisés avec le panel qualifié afin que les deux types de panel puissent déguster les mêmes produits. La démarche et la mise en place de ce profil sensoriel ne sont pas détaillées dans ce chapitre et renvoient au chapitre 4 de la partie 2 (Expérimentation 1).

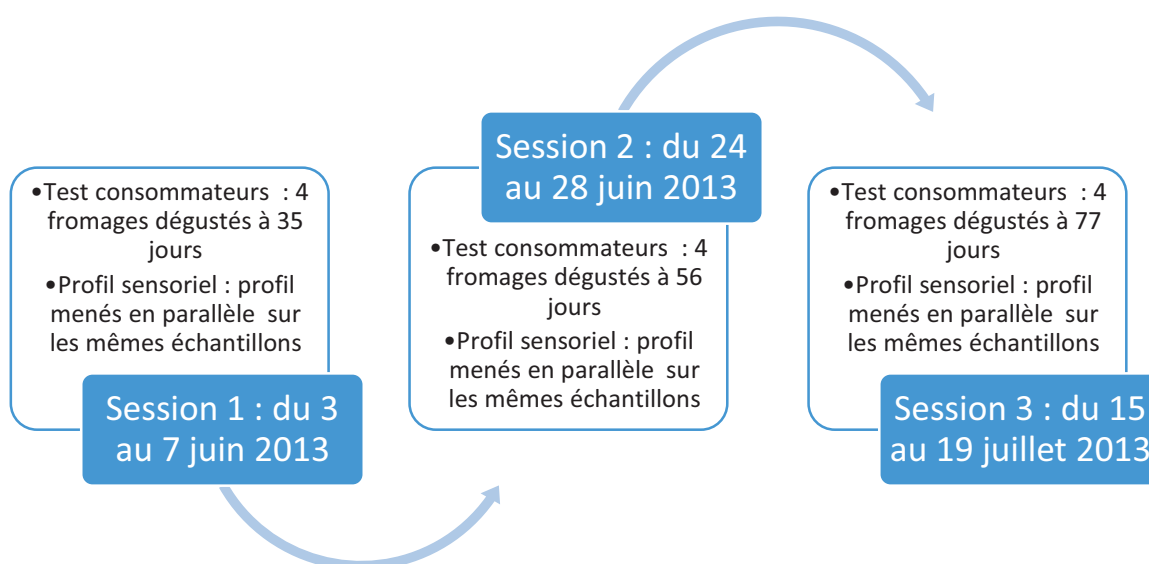


Figure 38 : Déroulement et organisation des séances du test consommateurs

### 2.3. ANALYSES STATISTIQUES

Toutes les données sensorielles ont été recueillies avec le logiciel Tastel®, version 2012 (ABT Informatique, Rouvroy-sur-Marne, France). Les données ont été ensuite traitées avec le logiciel XLSTAT® (Addinsoft, Paris, France).

Les moyennes et les écart-types pour chaque appréciation ont été reportés sous forme graphique et une analyse de variance à 2 facteurs (consommateurs, produits) a été réalisée pour mettre en évidence les différences significatives sur les notes hédoniques. La comparaison multiple des moyennes 2 à 2 a été effectuée avec un test de Tukey à 5%. Pour décrire les produits et visualiser

leur positionnement les uns par rapport aux autres, une **Analyse en Composantes Principales (ACP)** a été effectuée sur la moyenne des notes pour chaque produit.

Pour réaliser la segmentation des consommateurs en fonction de leur appréciation, une classification hiérarchique ascendante sur les données centrées et réduites a été réalisée (méthode de Ward, distance euclidienne).

Une cartographie externe des préférences a été réalisée sur les classes issues de la segmentation et sur les données issues du profil sensoriel afin d'identifier les attributs contribuant aux préférences des classes de consommateurs. Un modèle quadratique (modèle complet) a été sélectionné.

Le traitement des questions ouvertes a été réalisé au moyen d'une analyse textuelle des qualités et défauts cités par les consommateurs au cours des trois sessions. Un comptage (nombre d'occurrences) pour chaque terme généré a été effectué à l'aide du logiciel Tastel® (ABT Informatique, Rouvroy-sur-Marne). A partir des termes ayant les occurrences les plus importantes (>10), un dictionnaire de synonymes a été effectué regroupant les mots similaires ou proches. Par la suite, les données obtenues ont été traitées en réalisant une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC). Pour relier les préférences des consommateurs avec les qualités/défauts grâce aux fréquences des occurrences, une ACP a été réalisée (Callac et al. 2012).

Les données sur les attirances alimentaires et les perceptions d'intensités gustatives de certains aliments ont été traitées à l'aide d'une analyse factorielle exploratoire. Au préalable, une classification hiérarchique ascendante (distance euclidienne, méthode de Ward) a été réalisée sur les données d'intensité perçues pour les différents aliments représentant des saveurs et sensations spécifiques (salé, amer, acide et piquant). Ces résultats ont servi à établir les pôles gustatifs. Par la suite, l'analyse factorielle a eu pour but de sélectionner les items les plus représentatifs de chaque pôle gustatif (salé, amer, acide et piquant). L'alpha de Cronbach a été calculé pour mesurer le degré auquel l'ensemble des items sélectionnés mesure bien le même construit (consistance interne). Un alpha supérieur à 0,70 permet d'identifier une cohérence et une corrélation entre les différents items et de valider la fiabilité de l'échelle. Une fois les items sélectionnés, un score moyen a été calculé pour l'ensemble de ces items représentant un pôle gustatif. Une analyse de variance à 1 facteur (classe de consommateurs) a ensuite été réalisée pour mettre en évidence l'attirance pour une catégorie de produits à dominance gustative entre les classes.

Concernant les données socio-démographiques, les comportements de consommation sur les fromages et les aliments cités, des tests d'indépendance du Khi-deux ont été réalisés sur chacune des classes pour connaître les relations significatives ( $\alpha=5\%$ ) existantes entre les variables et les classes. Par ailleurs, la valeur-test a été calculée et a permis d'identifier les modalités de variable les plus caractéristiques d'un groupe d'individus. La valeur test correspond à l'écart entre la fréquence

d'une variable dans un groupe et la fréquence générale pour cette même variable, exprimée en nombre d'écart-types.

### 3.RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. CARACTERISTIQUES DU PANEL

Sur les 162 consommateurs de fromages ayant participé à cette étude, les réponses complètes de 153 consommateurs ont été analysées. Le détail des caractéristiques sociodémographiques du panel est reporté dans le tableau 31. Le panel recruté est composé de 67% de femmes et de 33% d'hommes. Les âges sont compris entre 18 et 64 ans et les tranches d'âges sont réparties de manière équilibrée. Par contre, très peu de personnes présentent un âge supérieur à 65 ans (8%). 63% des personnes interrogées exercent une activité professionnelle dont 20% exercent une profession intermédiaire et 24% sont cadres ou exercent une profession intellectuelle supérieure.

Tableau 31 : Description du panel consommateur

Facteurs	Description
<b>Sexe</b>	Homme (33%) et Femme (67%)
<b>Age</b>	18-34 ans (24%), 34-49 ans (31%), 50-64 ans (37%) et ≥65 ans (8%)
<b>Origine</b>	Auvergne (73%) et autre (27%)
<b>Statut Marital</b>	Célibataire (15%), Marié (46%), Divorcé (10%), Pacsé/Concubin (25%), Veuf (4%)
<b>Activité Professionnelle</b>	Exerce une activité professionnelle (63%) : 2% artisan, 24% cadre et prof. intellectuelle, 20% prof. intermédiaire, 18% employé ; 6% ouvrier Sans activité professionnelle (31%) : 22% retraité et 9% sans activité.
<b>Niveau d'éducation</b>	Brevet ou Bac (39%), Bac+2/+3 (34%) et Bac+4/plus (27%)
<b>Revenu par mois (en Euro)</b>	≤1100 (8%), 1101-1700 (20%), 1701-2200 (33%) 2201-3400 (33%), ≥3401 (20%)

Il s'agit d'un panel de personnes consommatrices de fromages à pâte persillée, n'ayant pas d'aversion pour les fromages chauffés à dominante féminine mais équilibré sur les autres critères socio-démographiques.

### 3.2. USAGES ET ATTENTES DES CONSOMMATEURS VIS-A-VIS DES FROMAGES A FROID ET A CHAUD

Les fréquences de consommation de fromages sont plus ou moins importantes selon le type de fromages. Les fromages les plus consommés (1 à 6 fois par semaine) sont le St Nectaire (52,9%) et le gruyère rapé (53,3%), puis viennent dans l'ordre les autres fromages d'Auvergne comme le Bleu d'Auvergne (47,0%), le Cantal (38,6%) et la Fourme d'Ambert (24,0%). Globalement, les fromages « industriels » comme le camembert sont moins consommés (20,3%). Par contre, près de 50% des consommateurs ne consomment jamais de fromages fondus. Ces résultats semblent cohérents avec ceux émis par le CNIEL (2012). Concernant les produits plus saisonniers comme la raclette ou la mozzarella, la fréquence de consommation est plus basse. Respectivement, 77% des panélistes en consomment moins d'1 fois par mois et 35% en consomment 1 à 3 fois par mois. Pour les fromages à chaud (un des critères de recrutement), la fréquence de consommation est assez élevée puisque 45% des participants en consomment 1 à 6 fois par semaine. **Ce dernier résultat montre l'influence et le développement de nouveaux modes d'utilisation des fromages** et confirment les études menées par le CNIEL sur les nouveaux usages des fromages qui correspondent aux fromages « cuisinables », « tartinable », ou pour le snacking...(Lemoine and Renard 2012).

Des questions ont également été posées sur les modes d'utilisation culinaires des fromages, plus précisément sur les types de fromages utilisés par les consommateurs pour réaliser des recettes. Le gruyère est le fromage « incontournable » des préparations culinaires. Il est aussi bien intégré dans des préparations chaudes comme les gratins (40%), les pizzas/quiches (39%) ou les croques-monsieur (45%) que dans les préparations froides : sandwich (28%) ou à l'apéritif (20%).

Les fromages auvergnats sont moins bien représentés dans la préparation des plats chaud et froid puisque 7% des consommateurs utilisent le Cantal dans les gratins et 12% l'utilisent dans des préparations froides. Quant au Saint-Nectaire, il est plus utilisé dans les préparations froides et plus particulièrement dans les sandwich où 24% des consommateurs l'utilisent que dans les plats chauds (7%).

Pour les fromages à pâte persillée du Massif central, le Bleu d'Auvergne est principalement utilisé dans les sauces à hauteur de 23% et 10% le rajoutent dans les préparations froides (salades). Pour la Fourme d'Ambert, son utilisation en cuisine reste plus marginale (9% d'utilisation dans les sauces). Concernant les autres types de « Bleu » comme le Roquefort, ils constituent l'ingrédient principal des sauces (36%). Ces résultats se rapprochent de ceux observés dans une étude récente (non publiée) en lien avec la perception des fromages du Massif central (Amblard et al. 2012) où le Bleu d'Auvergne est utilisé principalement en salade (47%) et dans des préparations chaudes (29%). Les consommateurs de ce panel sont des utilisateurs peu fréquents de la Fourme d'Ambert à chaud

et sont donc peu exposés à cette présentation. Ceci évitera le biais lié à la familiarisation envers ce produit et ne pourra que renforcer la robustesse de la spontanéité des réponses.

Toujours concernant **les attentes** vis-à-vis des fromages à chaud, il a été demandé aux consommateurs de classer par ordre de priorité les qualités sensorielles des fromages utilisés en tant qu'ingrédients dans des plats chauds. Le goût est ressorti comme l'élément le plus important pour les consommateurs suivi par la texture en bouche et l'odeur qui se positionnent au même niveau. L'aspect arrive en 4<sup>ème</sup> position suivi en dernier par la texture au doigt. Cette réponse est très intéressante car elle met en évidence les attentes des consommateurs vis-à-vis des fromages à chaud. Généralement, la littérature souligne l'importance des qualités sensorielles envers les fromages à froid. A titre d'exemple, Colonna et al. (2011) montrent que la flaveur est la raison principale pour laquelle les fromages pasteurisés et non pasteurisés sont appréciés.

Ce premier questionnaire basé sur les usages et attentes des consommateurs montre que le segment « **fromage ingrédient** » est bien un nouveau mode d'utilisation et de consommation pour les consommateurs, en effet une forte proportion de consommation hebdomadaire de fromages à chaud est observée (45% des enquêtés en consomment 1 à 6 fois par semaine). Certes, le gruyère est le leader de ce marché, cependant, les **fromages AOP du Massif central** semblent se profiler comme **de bons « acteurs »** dans les préparations culinaires à froid et à chaud. Aussi bien pour les fromages à froid qu'à chaud, **la flaveur** semble être la modalité sensorielle **recherchée et attendue par les consommateurs** lors de la dégustation.

### 3.3. PREFERENCES GLOBALES DES FROMAGES A FROID ET A CHAUD ET IMPACT DES SAVEURS SUR LES PREFERENCES DES CONSOMMATEURS

#### 3.3.1. Appréciations visuelle et globale des fromages à froid et à chaud

La figure 39 représente la moyenne et l'écart-type, tous stades de commercialisation confondus, évalués à froid et à chaud. L'appréciation visuelle, quelles que soient les conditions de température, n'est pas significativement différente. La note moyenne est de 6,4. En revanche, pour l'appréciation globale, une préférence significative ( $p < 0,05$ ) pour les fromages à chaud est observée par rapport aux fromages à froid. Les fromages à chaud obtiennent une note de 6,3 contre 5,5 pour les fromages à froid.

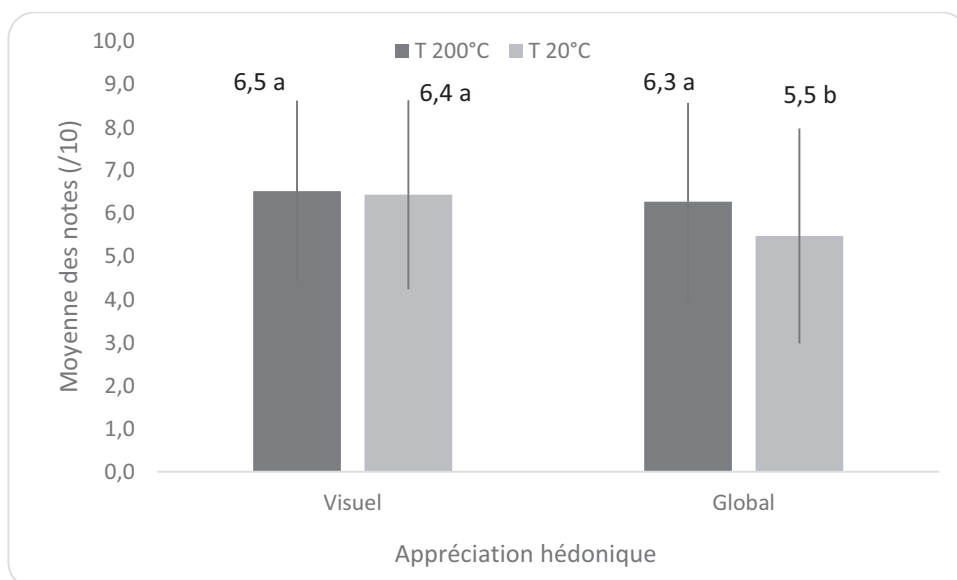


Figure 39 : Moyennes des notes d'appréciation visuelle et globale et écarts-types des fromages dégustés à froid ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ) et à chaud ( $T=200^{\circ}\text{C}$ ). Pour chaque appréciation, la moyenne associée à des lettres identiques (a, b) ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey

La figure 40 représente la moyenne des notes d'appréciation sur le visuel et en bouche (appréciation globale), pour chaque fromage SA et SB (tous stades de commercialisation confondus) selon les deux conditions de traitement.

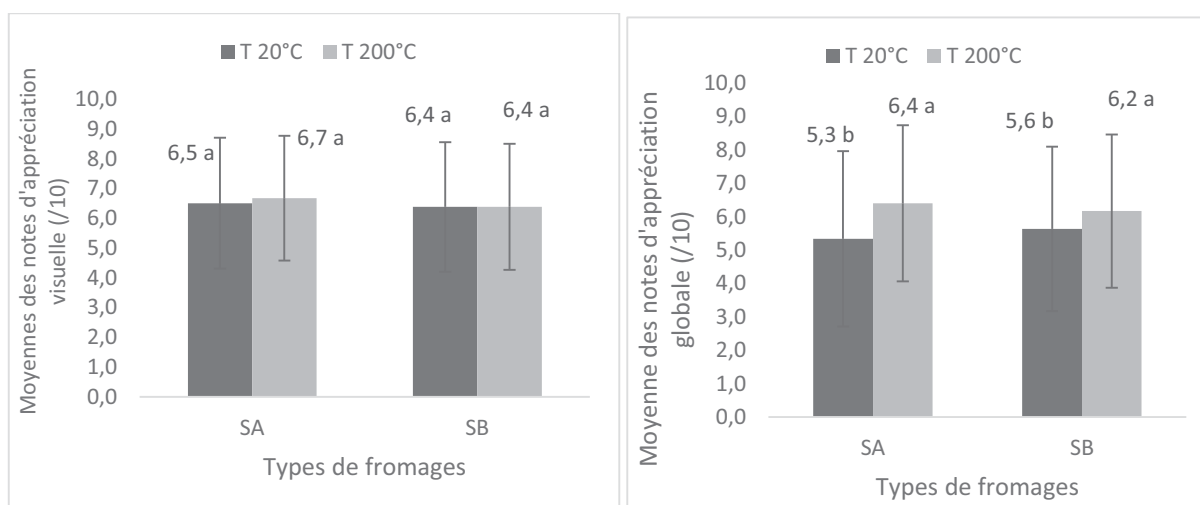


Figure 40 : Moyennes des notes d'appréciation visuelle et globale et écarts-types des fromages SA et SB dégustés selon les deux conditions de traitement ( $T = 20^{\circ}\text{C}$  ;  $T = 200^{\circ}\text{C}$ ). Pour chaque appréciation, la moyenne associée à des lettres identiques (a,b) ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey

D'une manière générale, les deux fromages présentent un bon visuel avec des notes variant en moyenne de 6,4 à 6,7. Aucune différence significative n'est observée selon les conditions de température quel que soit le type de fromage étudié. Les appréciations globales restent acceptables avec des variations allant de 5,3 à 6,4. Pour les deux types de fromages, les notes des fromages à chaud augmentent significativement ( $p < 0,0001$ ). Malgré un bon visuel pour les deux fromages à froid, les fromages à la dégustation perdent 1 point sur l'appréciation globale. En revanche, à chaud, les notes restent constantes par rapport au visuel. Globalement, les fromages sont mieux appréciés

à chaud. Des différences de texture et de goût à chaud pourraient expliquer ces différences perçues avec les fromages à froid. Le chauffage pourrait atténuer certaines saveurs ou texture perçues à froid déplaisantes pour le consommateur.

L'autre constat observé sur les graphiques concerne les écarts-types qui indiquent une dispersion des notes entre les consommateurs. D'après les distributions des notes d'appréciation globale illustrées dans la figure 41 pour le fromage SA, les consommateurs donnent plus de notes comprises entre 0 et 3,9 (26%) à froid contre seulement 15% à chaud. En revanche, 51% des consommateurs donnent des notes supérieures à 7 à chaud contre environ 34% à froid.

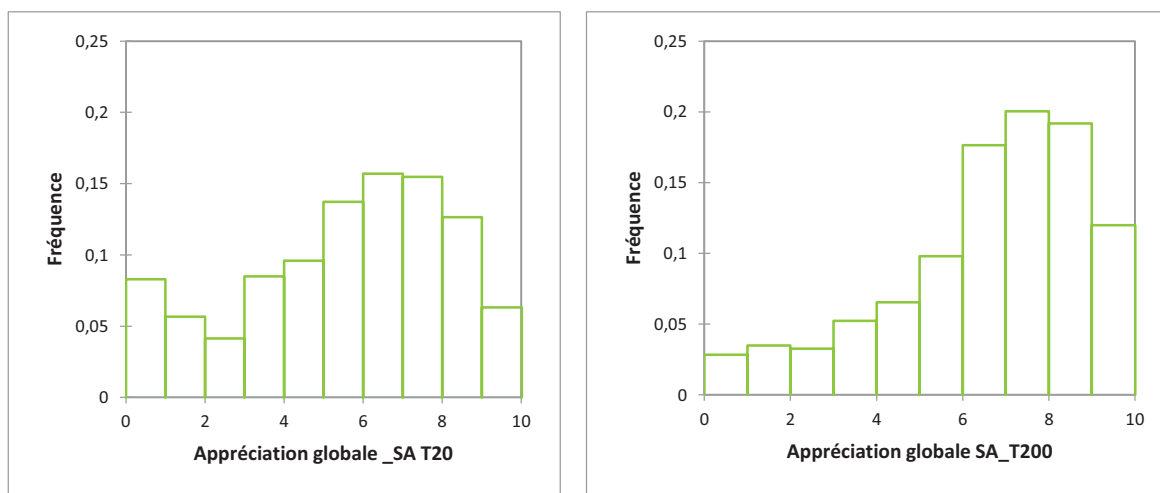


Figure 41 : Distribution des notes d'appréciation globale des fromages SA dégustés à froid (T=20°C) et à chaud (T=200°C)

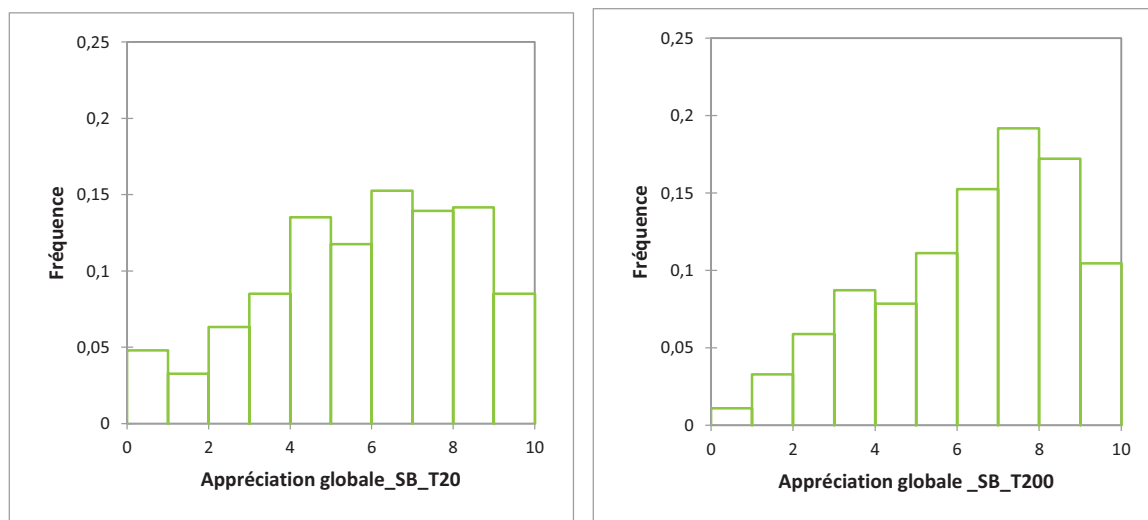


Figure 42 : Distribution des notes d'appréciation globale des fromages SB dégustés à froid (T = 20°C) et à chaud (T = 200°C)

Pour le fromage SB, la même tendance se dégage (figure 42) pour laquelle 36,6% des consommateurs donnent des notes égales ou supérieures à 7 à froid contre 47% à chaud.

Cette analyse apporte les premiers éléments concernant l'appréciation des fromages persillés à froid et à chaud. Globalement, les fromages SA et SB sont bien appréciés quelle que soit la température de dégustation avec un même consensus et une préférence plus marquée pour les fromages à chaud.

### 3.3.2. Perceptions gustatives des fromages à froid et à chaud par les consommateurs

Les résultats du profil sensoriel ont souligné une différence notable entre les deux types de fromages concernant l'intensité des perceptions gustatives. Les consommateurs ont-ils perçu cette différence d'intensité gustative ? Cette disparité a-t-elle contribué à l'appréciation globale des fromages ? Les moyennes d'intensité par saveur pour les deux types de fromages à froid et à chaud (tous types de fromages confondus) sont représentées dans la figure 43. Le salé et l'amer sont les deux saveurs perçues comme les plus intenses. Les notes varient entre 3 et 5. Les intensités perçues pour l'acidité et le piquant sont plus faibles (notes autour de 2). La température affecte seulement les saveurs salée et amère. La perception salée est légèrement plus intense à chaud qu'à froid. En revanche, la perception amère se comporte différemment selon la température. L'intensité de l'amertume est ainsi perçue comme étant légèrement plus faible à chaud qu'à froid, ce qui corrobore les résultats du profil. Toutefois, on ne peut pas faire abstraction de la dispersion des perceptions indiquant une variabilité très importante de la part des consommateurs.

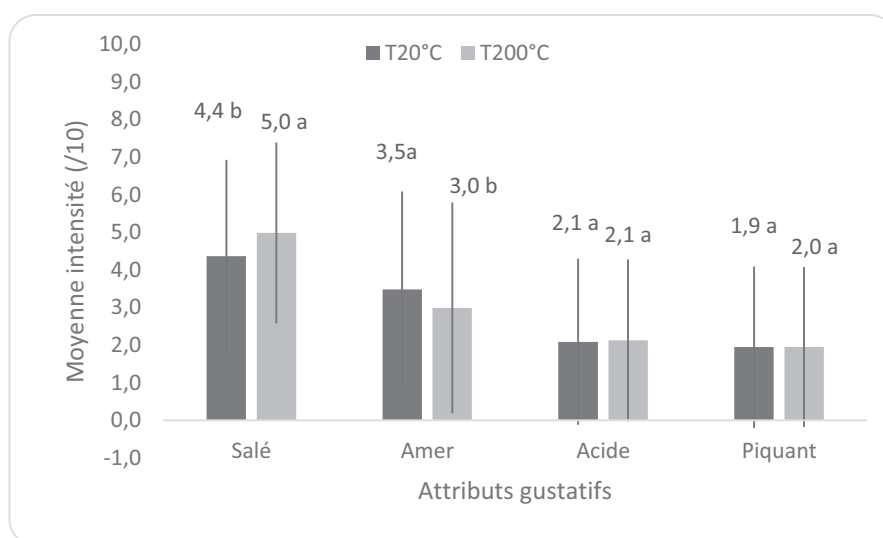


Figure 43 : Moyennes des notes d'intensité des saveurs et écarts-types pour les fromages à froid ( $T = 20^{\circ}\text{C}$ ) et les fromages à chaud ( $T = 200^{\circ}\text{C}$ ). Pour chaque descripteur, la moyenne associée à des lettres identiques (a, b) ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey

La figure 44 représente la moyenne des intensités perçues pour chacune des saveurs selon les conditions de traitement et le type de fromages. La moyenne globale (ligne) calculée sur l'ensemble des fromages à froid et à chaud est également représentée.



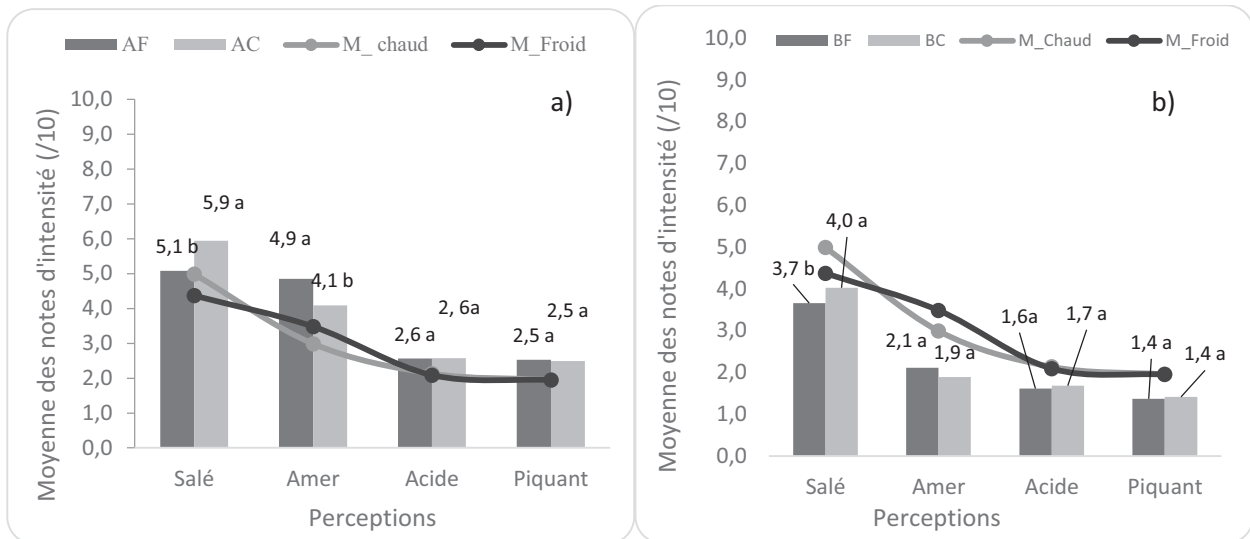


Figure 44 : Comparaison des notes d'intensité des saveurs pour chaque type de fromages selon les deux conditions de température (a) = fromage SA ; (b) = fromage SB ; f = froid ( $T = 20^{\circ}\text{C}$ ) ; c = Chaud ( $T = 200^{\circ}\text{C}$ ). Pour chaque descripteur, la moyenne associée à des lettres identiques (a, b) ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey

Pour les fromages SA, les intensités des saveurs amère et salée sont modifiées selon les conditions de traitement. La saveur salée est plus intense à chaud qu'à froid. En revanche, l'amertume (note moyenne de 4,4) est légèrement plus intense à froid qu'à chaud. Pour les autres saveurs, il n'y a pas de différences significatives. Pour les fromages SB, l'ensemble des intensités gustatives et les sensations sont perçues plus faiblement que pour les fromages SA mais la même tendance est observée. La saveur salée présente une intensité moyenne de 3,8. Elle est légèrement plus intense à chaud qu'à froid. L'intensité des saveurs amère, acide et piquante, est perçue très faiblement (notes < 2) et reste stable selon les deux conditions de traitement. Les tendances entre les deux fromages ne sont pas différentes : le chauffage a tendance à intensifier la perception salée et à diminuer l'amertume mais il n'agit pas sur la perception de l'acide et du piquant.

L'amertume et le salé sont des attributs sensoriels clés dans la typicité des fromages à pâte persillée. Chez les consommateurs, ces deux attributs peuvent être perçus comme des descripteurs positifs de typicité ou comme des défauts (Johnson 2003) et de ce fait être rejetés. Par ailleurs, nos résultats montrent que les consommateurs sont capables de quantifier ces saveurs dans les fromages. Des analyses complémentaires (non présentées) ont montré que les intensités perçues par les consommateurs sont similaires à celles du panel entraîné.

La dernière analyse effectuée a pour but de visualiser la contribution des 4 variables gustatives sur l'appréciation globale au moyen d'une ACP (figure 45). Les deux premiers axes factoriels représentent 91,20% de l'information totale. Les moyennes des notes d'appréciation globale, tous fromages confondus, pour chaque condition de température, ont été ajoutés comme variables supplémentaires. L'axe 1 peut être caractérisé comme un axe « Type de fromages ». En effet, il permet de séparer les deux types de fromages entre eux. Cet axe est décrit par l'ensemble des

descripteurs gustatifs. Les fromages SA sont donc caractérisés par les saveurs salée, acide, amère et piquante. A l'opposé les fromages SB présentent des caractéristiques gustatives beaucoup moins identifiables. L'axe 2, qui représente 22% de la variance totale, apparaît comme un axe « Condition de température ». Il sépare en effet les fromages « chauds » des fromages « froids ». Cet axe est décrit uniquement par la variable « appréciation globale ». Les fromages « chauds » semblent être plus appréciés que les fromages à « froid ». Par ailleurs, l'appréciation globale est indépendante des perceptions gustatives.

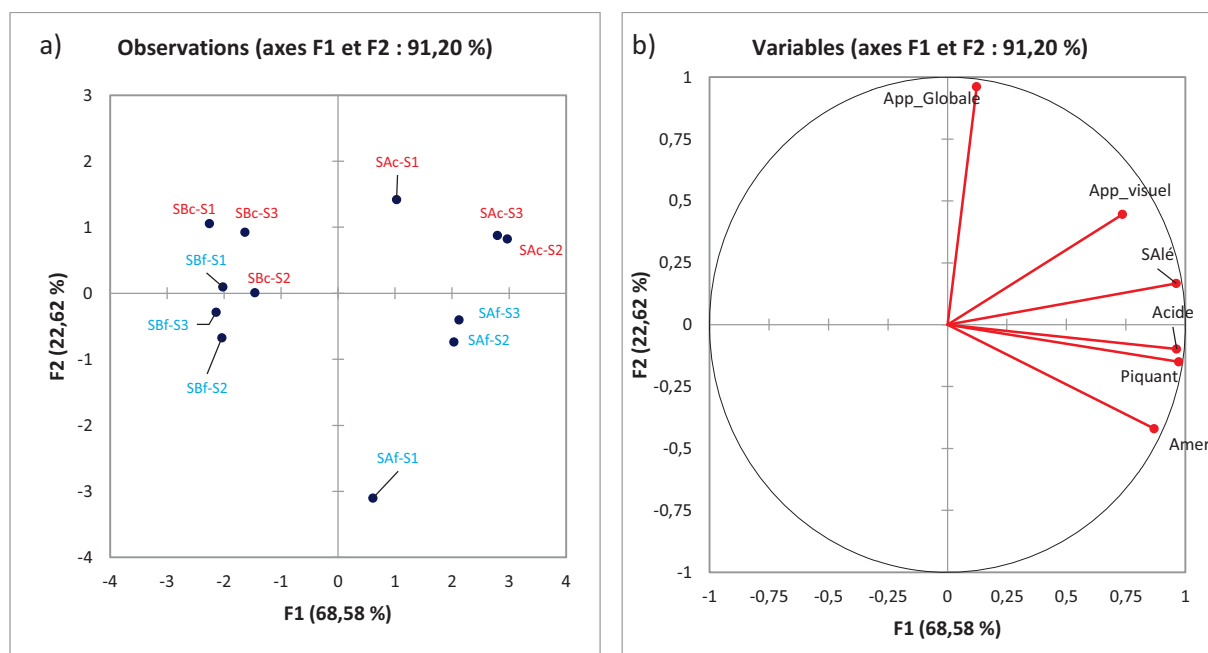


Figure 45 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) sur l'ensemble des appréciations hédoniques (App). c = chaud ; f = froid ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours

Cette analyse montre que les intensités gustatives sont indépendantes de l'appréciation globale et ainsi ne contribuent pas à expliquer les préférences des consommateurs même si pour les consommateurs les saveurs sont des critères importants dans la sélection des aliments. Toutefois, on aurait pu s'attendre à ce que certaines saveurs soient des éléments clés pour expliquer l'appréciation globale des fromages. Malgré des conditions différentes de dégustation et de protocole (type de produits, type de questions et d'échelle), certains auteurs ont pu observer des liens entre les saveurs et l'appréciation globale. Par exemple, Drake et al. (2011) montrent que les fromages réduits fortement en sodium (12%) sont moins bien appréciés et que l'analyse des pénalités issue des réponses JAR indique que les fromages jugés « pas assez salé » pénalisent l'appréciation globale. Young et al. (2004) montrent sur différents Cheddar que l'appréciation globale des fromages est fortement corrélée à l'appréciation des saveurs et de la texture. D'autres critères intrinsèques (texture ou arôme) ou extrinsèques (psychologiques, comportementales) doivent intervenir dans les préférences (Köster 2009). Au vu des écarts-types et

des notes de distribution, il semble exister une diversité des préférences au sein du panel de consommateurs selon le type de fromages.

### 3.4. DETERMINATION DE CLASSES DE CONSOMMATEURS SELON LEURS PREFERENCES

La segmentation des consommateurs est une approche courante pour identifier des groupes selon leurs préférences. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées (Vigneau and Qannari 2002; Westad et al. 2004) comme la cartographie interne des préférences (Barcenas et al. 2001) et la classification hiérarchique ascendante. Dans notre étude, une classification hiérarchique ascendante a été réalisée sur les données des préférences globales pour tenter de regrouper les individus qui présentent des préférences proches.

L'observation du dendrogramme (figure 46) issu de la CAH a conduit à retenir 3 classes.

- La classe 1 (C1) est composée de 40 personnes
- La classe 2 (C2) regroupe 74 personnes
- La classe 3 (C3) regroupe 39 personnes

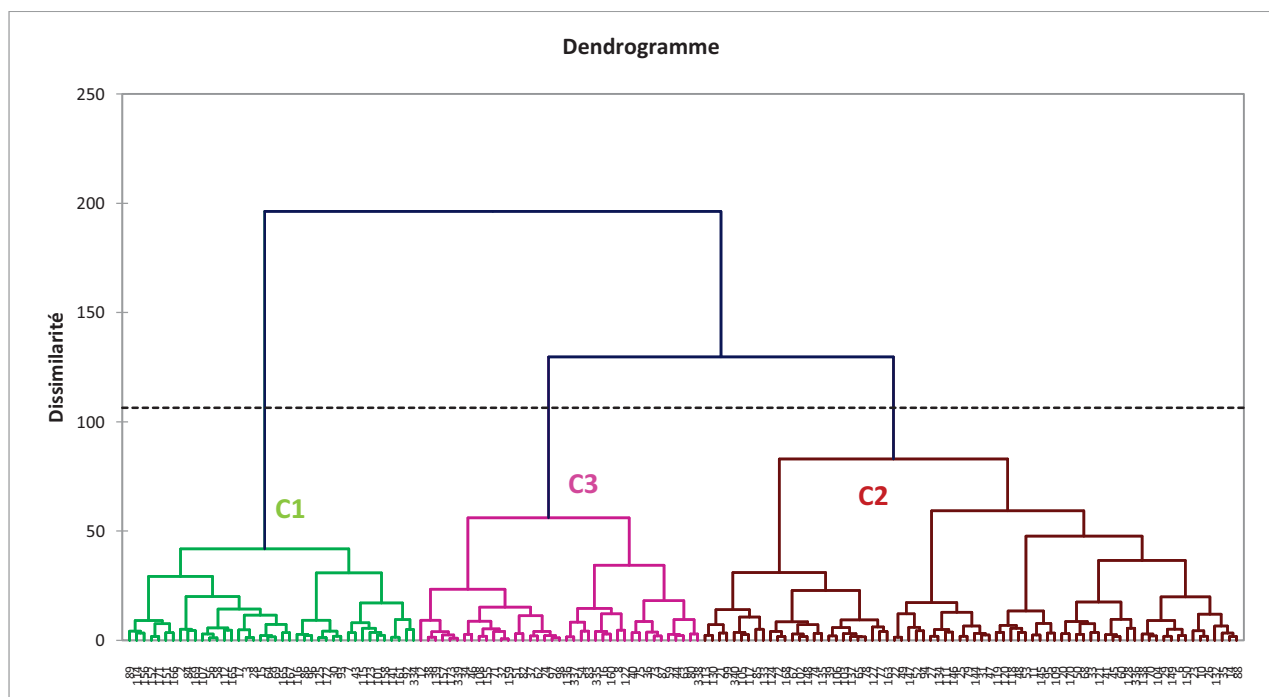


Figure 46 : Dendrogramme issu de la CAH réalisée sur les notes d'appréciation globale (centrés et réduites) obtenues pour les fromages à froid et à chaud

Une ANOVA à 3 facteurs (type de fromages, température et consommateurs) avec interaction (type de de fromages\*température) a été réalisée pour identifier le classement des préférences des fromages pour chacune des classes.

Le tableau 32 présente la moyenne des notes d'appréciation globale obtenue pour chaque classe. La moyenne globale est similaire pour chacune des classes (5,8) mais selon le type de fromages et selon les conditions de traitement, des différences de préférences sont observées :

- La classe 1 : Les fromages SA sont les plus appréciés quelles que soient les conditions de température (chaud / froid).
- La classe 2 : les fromages à chaud sont préférés en comparaison aux fromages à « froid » quel que soit le type de fromages. Il existe une interaction type\*température significative pour cette classe.
- La classe 3 : les fromages SB sont les plus appréciés quelle que soit la température.

Une majorité de consommateurs (48%) apprécie les fromages chauds alors que les autres orientent leurs préférences selon le « type » des fromages.

Tableau 32 : Caractérisation des groupes obtenus sur les notes d'appréciation globale

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
NOMBRE	40	74	39
TYPE DE PREFERENCES	Fromages froids : SA	Fromages « Chaud »	Fromages froids : SB
MOYENNE GLOBALE	5.8	5.9	5.8
F TYPE DE FROMAGE	<b>142.534**</b>	1.41	<b>140.16***</b>
F TEMPERATURE	0.134	<b>119,01***</b>	2.08
F TYPE*TEMPERATURE	0.971	<b>12.92***</b>	2.10

La moyenne générale correspond à la moyenne des notes obtenues pour chaque groupe tous fromages et température confondus.

Pour chaque groupe, une ANOVA à 3 facteurs a permis de tester l'effet « température » et « type de fromages » sur les notes (\* p<.0,05 ; \*\* p<0,01 ; \*\*\* p<0,001) avec interaction (type de fromages\*température)

La figure 47 représente les notes d'appréciation des différents types de fromages selon les deux conditions de température pour chacune des classes identifiées. Cette segmentation permet de voir que les préférences sont réellement différentes selon les classes de consommateurs, ce qui n'avait pas été identifié lors de l'analyse des préférences globales.

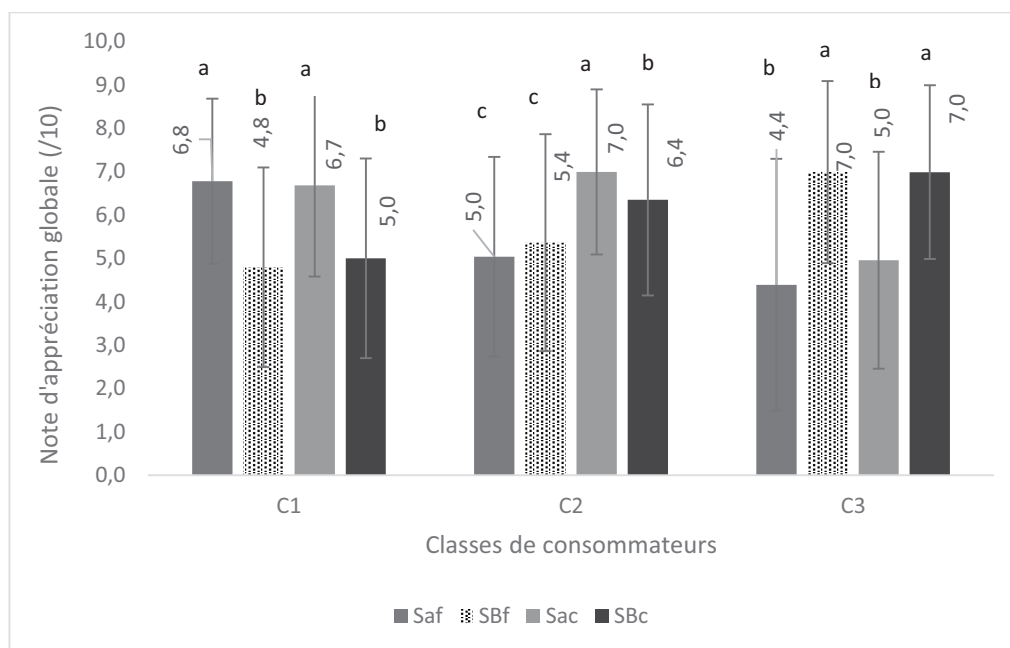


Figure 47 : Moyennes des notes d'appréciation et écarts-types des fromages à froid et à chaud selon les 3 classes de consommateurs (les moyennes des produits associés à la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (ANOVA par classe – comparaison multiple des moyennes). f = froid (T = 20°C) ; c = chaud (T = 200°C)

La classe C1 apprécie les fromages typés quelle que soit la température de dégustation et donne des notes supérieures ou égales à 6,7. En revanche, les consommateurs de cette classe donnent des notes inférieures ou égales à 5 pour les fromages SB. A l'inverse, la classe C3 préfère les fromages moins intenses et donne des notes égales à 7 pour les fromages SB, quelle que soit la température, et donne des notes inférieures à 5 pour les fromages SA. La classe C2 apprécie quant à elle les fromages à chaud avec une légère préférence pour les fromages SA à chaud, lui donnant une note de 7. En revanche, les fromages SA et SB à froid obtiennent des notes moyennes de 5 et 5,4 respectivement. Cette seconde analyse sur l'identification de classes de consommateurs a permis de mettre en avant des différences de préférences entre les fromages à froid et à chaud. De plus, ces résultats soulignent le fait que les perceptions gustatives semblent jouer sur les préférences. En effet, la distinction des préférences entre la classe C1 et la classe C3 semblent reposer sur la différence des « goûts » selon le type de fromages. Pour confirmer le rôle de certains attributs et notamment de la flaveur sur les classes de consommateurs, le paragraphe suivant va souligner les différents critères qui impactent ces choix.

### 3.5. EXPLICATION DES PREFERENCES DES CLASSES DE CONSOMMATEURS AVEC DES ELEMENTS SENSORIELS, TEXTUELS, D'USAGE ET COMPORTEMENTAUX

Les valeurs intrinsèques des produits sont généralement l'un des facteurs qui contribuent le plus au choix des préférences. Toutefois, d'autres facteurs de nature différente tels que comportementaux ou d'attente sensorielle (Lange 2001) peuvent également contribuer aux préférences des consommateurs. L'objectif de ce chapitre est de tenter d'expliquer les préférences des classes de consommateurs avec différents éléments tirés du questionnaire qui leur a été administré ou en lien avec les données sensorielles issues du profil sensoriel mené par le jury qualifié.

#### 3.5.1. Explication des préférences en lien avec les qualités sensorielles : cartographie externe des préférences

La cartographie externe des préférences est une bonne technique pour décrire les attributs sensoriels qui influencent les préférences des consommateurs (Guinard et al. 2001; Drake et al. 2009) quel que soit le type d'aliment étudié. Une cartographie externe des préférences a donc été réalisée sur les 12 fromages étudiés en relation avec les descripteurs sensoriels issus du profil sensoriel. Les résultats obtenus montrent que le modèle est bien ajusté pour les 3 classes (tableau 33). Le meilleur modèle sélectionné a été le modèle vectoriel pour les 3 classes.

Tableau 33 : Tableau issu de l'analyse de variance pour les 3 classes de consommateurs (C1, C2 et C3) issu de la cartographie des préférences

Y	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	R <sup>2</sup>	F	Pr > F
C1	3	9,486	3,162	0,830	13,020	<b>0,002</b>
C2	3	5,958	1,986	0,611	4,194	<b>0,047</b>
C3	3	16,267	5,422	0,848	14,870	<b>0,001</b>

La figure 48 représente la cartographie des préférences des 3 groupes définis lors de la segmentation des consommateurs et la représentation des descripteurs sensoriels sur les axes 1-2 issus de l'ACP.

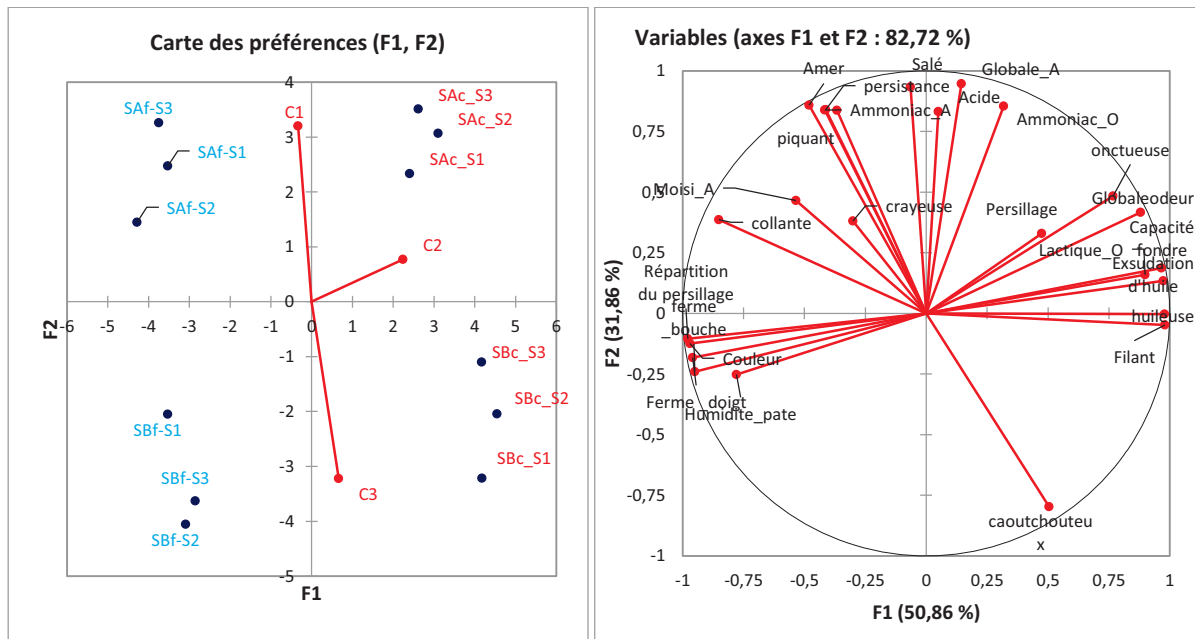


Figure 48 : Cartographie externe des préférences incluant les classes de consommateurs issues de la CAH. f = froid ( $T = 20^{\circ}\text{C}$ ) ; c = chaud ( $T = 200^{\circ}\text{C}$ ) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 55 jours ; S3 = stade à 77 jours

- La classe 1 (C1) préfère les fromages SA présentant des caractéristiques propres aux fromages à pâte persillée comme les saveurs salée, acide, amère, un arôme global et arôme ammoniacé intense. Par contre, les consommateurs n'apprécient pas la texture caoutchouteuse des fromages SB.
- La classe 2 (C2) préfère les fromages à chaud notamment pour leur capacité à fondre, l'exsudation d'huile, le filant, l'onctuosité et l'odeur ammoniacquée. Ils n'apprécient pas les fromages à froid du fait de leur fermeté, leur texture collante et l'arôme de moisi / bleu qui est plus prononcé à froid.
- La classe 3 (C3) préfère les fromages SB qui sont des fromages « doux » et n'apprécient pas les fromages avec des saveurs acide, amère, salée et une puissance aromatique marquée. En revanche, les consommateurs semblent préférer ces fromages pour leur texture caoutchouteuse.

Globalement, cette étude sur les préférences des fromages à froid et à chaud permet de montrer que **la texture ainsi que le goût sont les principaux déterminants** expliquant les préférences des classes de consommateurs selon les conditions de température. Contrairement à l'attente pour laquelle les consommateurs ont déclaré que le goût était le facteur sensoriel le plus important, la texture semble être l'un des déterminants les plus importants pour expliquer les préférences vis-à-vis des préférences des fromages à chaud. En revanche pour les fromages à froid, le goût et les arômes sont les marqueurs les plus déterminants pour expliquer les préférences. Dans une étude menée par Ligget et al. (2008) sur les fromages Suisses (non chauffés), ils ont montré que les saveurs pouvaient contribuer en partie à la préférence des consommateurs. Concernant le rôle des

descripteurs sur les préférences des consommateurs, leur importance semble différente selon le type de fromage ou les descripteurs générés.

Par une autre approche, nous avons recherché les contributions des attributs sur les préférences au moyen d'une ACP afin de compléter et de valider les relations entre les attributs sensoriels et les préférences des consommateurs (Ritvanen et al. 2005).

Tableau 34 : Corrélations significatives (issues de la matrice de corrélation de l'ACP) entre l'appréciation globale de chacune des classes et les attributs sensoriels

	Classe C1	Classe C2	Classe C3
Attributs contribution positive	Salé $r = 0,862$ Acide $r = 0,825$ Amer $r = 0,828$ Piquante $r = 0,929$ Arôme global $r = 0,865$ Ammoniac_A $r = 0,715$ Persistant $r = 0,847$	Capacité à fondre $r = 0,892$ Exsudation d'huile $r = 0,823$ Odeur globale $r = 0,800$ Onctueuse $r = 0,600$ Caoutchouteux $r = 0,576$ Huileuse $r = 0,799$	Caoutchouteux $r = 0,632$
Attributs contribution négative		Couleur $r = -0,901$ Humidité_pate $r = -0,735$ Répartition_Bleu $r = -0,906$ Ferme_doigt $r = -0,904$ Ferme_Bouche $r = -0,896$	Salé $r = -0,859$ Acide $r = -0,827$ Amer $r = -0,760$ Piquante $r = -0,859$ Arôme global $r = -0,862$ Ammoniac_C $r = -0,766$ Persistant_C $r = -0,764$

En réalisant une ACP sur chaque classe de consommateurs, les résultats aboutissent à des conclusions similaires et permettent ainsi de valider les attributs qui contribuent aux préférences de chaque groupe. Le tableau 34 montre les corrélations significatives entre la note d'appréciation globale pour chaque classe et les attributs sensoriels. Pour la classe C3, le terme « caoutchouteux » est le seul attribut positif qui contribue aux préférences des consommateurs. En revanche, les corrélations négatives avec les saveurs et avec certains arômes insistent sur le fait que cette classe n'aime pas les fromages aux goûts prononcés.

Certains descripteurs utilisés par le jury entraîné peuvent parfois se révéler non adaptés ou peu évocateurs et ne représentent pas forcément les perceptions identifiées/ressenties par les consommateurs (Ten Kleij and Musters 2003). Nous avons donc voulu expliquer les préférences des consommateurs par les verbatim cités par les consommateurs. En effet, cette pratique a montré qu'elle pouvait être complémentaire à la cartographie des préférences (Symoneaux et al. 2012).

### 3.5.2. Explication des préférences en lien avec les qualités et défauts des fromages issus des questions ouvertes

Après la création d'un dictionnaire basé sur les occurrences les plus importantes, une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été réalisée sur les qualités et les défauts des fromages pour visualiser les relations entre ces termes et les fromages. La figure 49 représente les termes qui définissent les qualités positives des fromages. Les deux premiers axes représentent environ 69% de l'information totale.



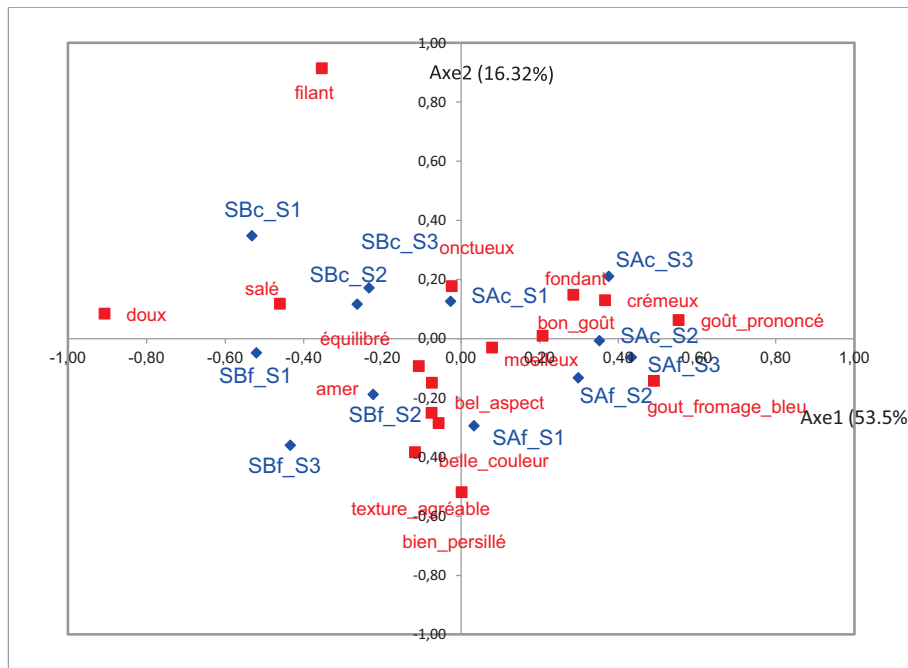


Figure 49 : Graphique issu de l'AFC réalisée sur les qualités citées par les consommateurs pour décrire les fromages à froid et à chaud. f = froid ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ) ; c = chaud ( $T=200^{\circ}\text{C}$ ) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours

L'axe 1 (53,5%) est représenté principalement par des termes de flaveur : goût prononcé, goût fromage\_bleu, bon\_goût, doux, salé, équilibré. Les termes comme « goût prononcé » ou « goût fromage\_bleu » définissent principalement les fromages SA et s'opposent aux fromages SB qui sont décrits comme « doux », « salé » et « équilibré ». L'axe 2 (16%) reflète un axe de texture et d'apparence. Il est décrit par le terme filant qui caractérise plus particulièrement les fromages à chaud et les fromages SB et s'opposent aux descripteurs comme « bien persillé », « texture agréable », « belle couleur » et « bel aspect », qui caractérisent les fromages à froid.

La figure 50 représente la carte factorielle sur laquelle sont positionnés les différents fromages associés aux principaux défauts cités par les consommateurs. L'analyse des défauts montre que l'axe 1 (70%) peut être défini comme un axe de saveur. Il oppose les fromages SB et SA selon leurs saveurs. Les fromages SA semblent présenter des défauts concernant principalement leurs propriétés gustatives « trop amer et amer, trop salé et salé, piquante et acide ». L'axe 2 (15,5%) définit plus particulièrement des termes en lien avec la texture comme « pâteux, sec ou élastique » caractérisant principalement certains fromages SB.

Ces commentaires libres montrent clairement les critères sensoriels contribuant au rejet ou à l'acceptation des fromages. Les critères de goût et de texture semblent être les plus marquants (aussi bien de manière positive que négative). Il est intéressant de voir que certaines qualités peuvent être également considérées comme des défauts et notamment en termes de goût. Le goût salé est en effet un terme qui a été aussi bien cité comme défaut que comme qualité. Les fromages SA sont jugés trop salés (défauts). En revanche, certains consommateurs ont trouvé les fromages SB salés (qualités). Il semble exister une limite d'acceptabilité concernant l'amertume et le salé.

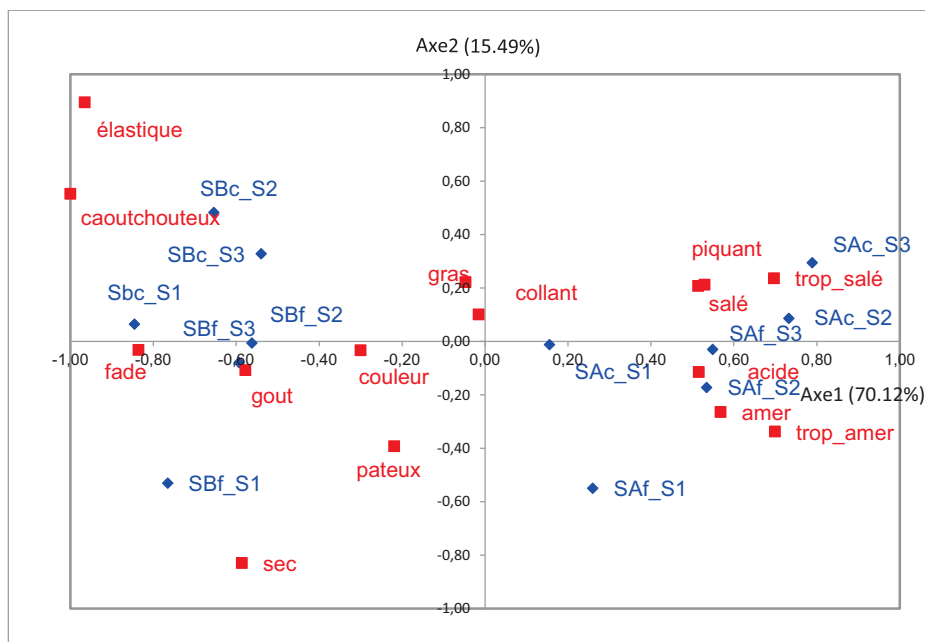


Figure 50 : Graphique issu de l'AFC réalisée sur les défauts cités par les consommateurs pour décrire les fromages à froid et à chaud. SA = fromage SA ; SB = fromage FB ; f = froid ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ) ; c = chaud ( $T=200^{\circ}\text{C}$ ) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours

Une ACP a été réalisée pour mettre en lien les fréquences relatives des termes et les notes d'appréciation globale des fromages (figure 51). Les classes de consommateurs ont été projetées en tant que variables supplémentaires. Pour éviter certaines redondances entre les termes qui ont été cités à la fois en qualités et en défauts, 21 termes ont été choisis selon les fréquences de citations (supérieure ou égale à 10%) :

**Termes de qualité** : doux, crémeux, fondant, onctueux, bon goût, goût prononcé, texture agréable, moelleux, belle couleur, Bel-aspect, bien persillé et filant

**Termes de défauts** : salé, trop salé, amer, trop amer, acide, fade, goût, caoutchouteux et sec

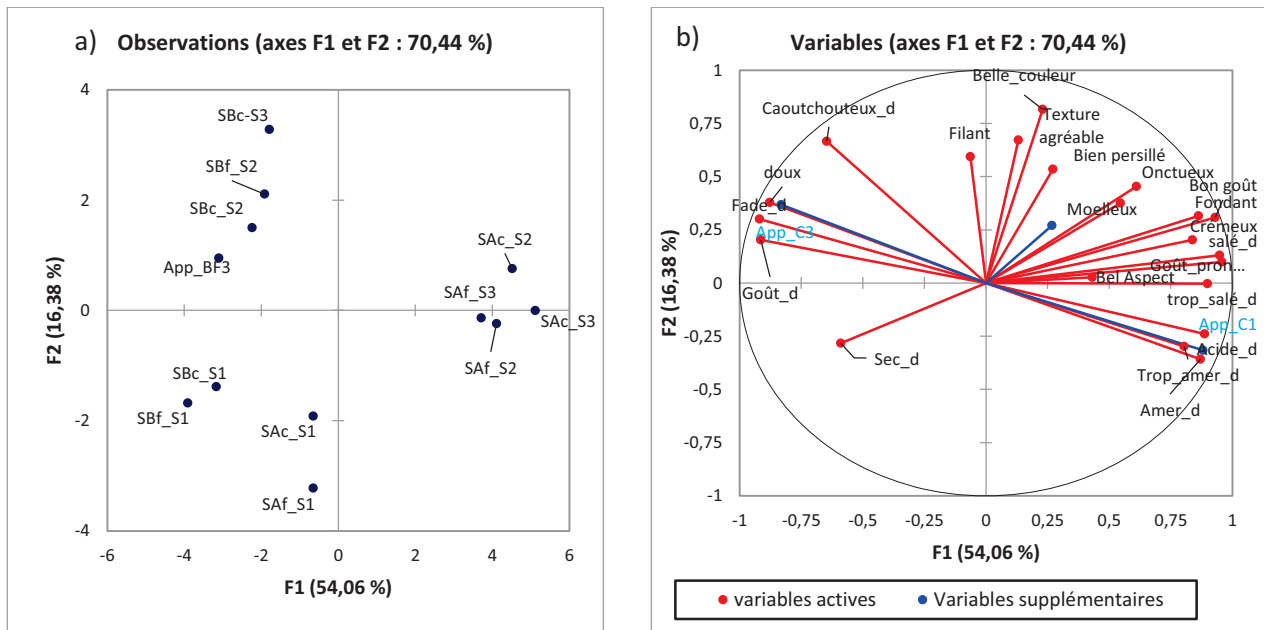


Figure 51 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) par ACP (F1-F2) réalisés sur les fréquences des termes cités par les consommateurs. En bleu, sont positionnées les préférences des classes de consommateurs en tant que variables supplémentaires. SA = fromage SA ; SB = fromage SB ; f = froid (T = 20°C) ; c = chaud (T = 200°C) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 55 jours ; S3 = stade à 77 jours

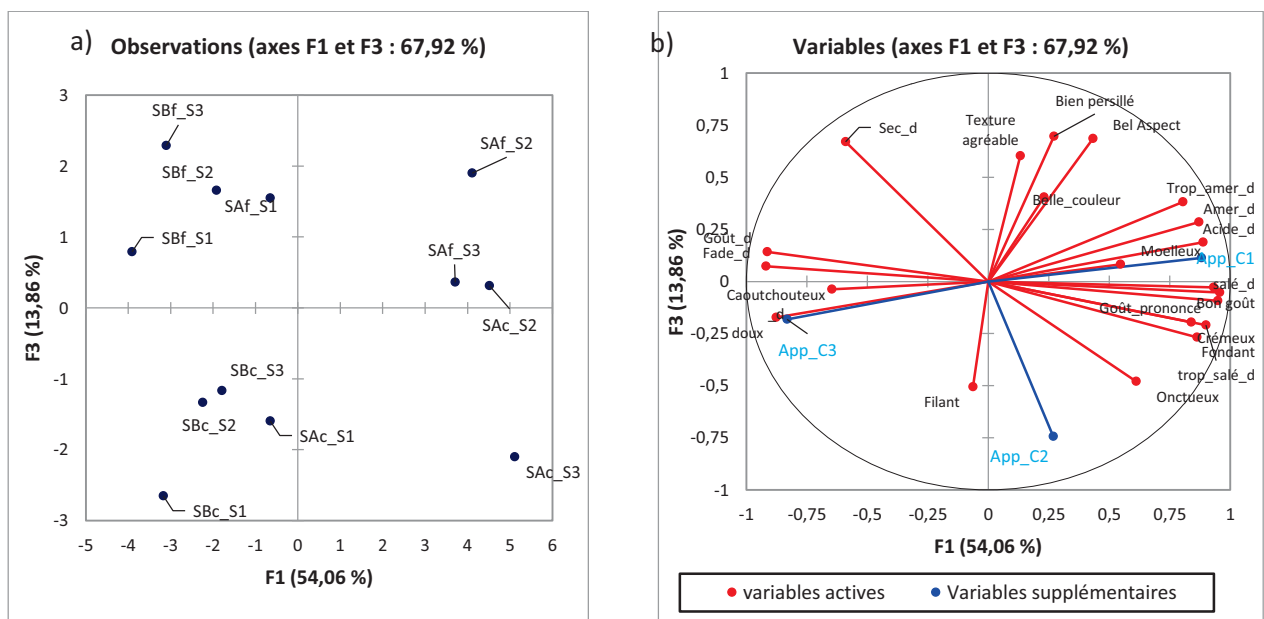


Figure 52 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) par ACP (F1-F3) réalisés sur les fréquences des termes cités par les consommateurs. En bleu, sont positionnées les préférences des classes de consommateurs en tant que variables supplémentaires. SA = fromage SA ; SB = fromage SB. f = froid (T = 20°C) ; c = chaud (T = 200°C) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 55 jours ; S3 = stade à 77 jours

La classe C1, appréciant les fromages SA, est reliée à des citations en lien avec la flaveur et aussi la texture. Cette classe semble apprécier les fromages pour leur goût salé, amer, leur goût prononcé et ne semble pas apprécier les fromages « doux » ou qualifiés de « fade ». La classe C3 quant à elle s'oppose à la classe C1. Elle est principalement corrélée avec le terme « doux » qualifiant globalement les fromages SB. En revanche, elle est reliée négativement avec les termes « trop salé, trop amer » qui sont jugés comme des défauts. En d'autres termes, les qualités de la classe C1 sont

les défauts cités par la classe C3. La classe C2, mieux représentée sur les dimensions 1-3 (figure 52) semble apprécier les fromages chauds caractérisés par leur texture filante et rejeter les fromages à froid à cause de leur texture sèche.

La comparaison de ces deux approches (cartographie externe et commentaires libres) permet de mettre en exergue l'utilisation de termes similaires entre le panel de consommateurs et le panel qualifié. Des informations similaires sont observées pour les classes C1 et C2. Pour la classe C3, la cartographie des préférences avait seulement permis de relier les préférences de cette classe avec le caoutchouteux et de l'opposé aux termes de flaveur. Avec les questions ouvertes, il est possible d'approfondir les attributs qui semblent être un atout pour les préférences de cette classe. De la même façon, les termes de flaveur se situent toujours à l'opposé de ce groupe ce qui montre bien que cette classe n'apprécie pas les fromages « typés » ayant un goût prononcé. En revanche, le terme « doux » est un nouvel élément et permet de caractériser de manière positive les fromages SB et expliquer la raison pour laquelle les consommateurs de cette classe apprécient les fromages SB.

En résumé, l'étude des questions ouvertes a permis de compléter et d'identifier d'autres marqueurs clés expliquant les préférences des groupes de consommateurs. Le panel qualifié doit généralement générer des termes qui sont discriminants et descriptifs. Il ne se focalise pas sur des termes hédoniques qui peuvent être importants pour les consommateurs. Dans cette analyse, des termes descriptifs comme salé, amer, caoutchouteux sont cités par les consommateurs et le panel qualifié. Le terme « doux » ayant une connotation hédonique a été cité par les consommateurs permettant ainsi de mieux expliquer les préférences de la classe C2. Cette approche permet également de caractériser les produits en les reliant à des termes propres au langage courant utilisé par les consommateurs (Ares et al. 2010). Par ailleurs ces termes permettent de mieux illustrer quelles sont les qualités et les défauts des produits. Au premier abord, ces termes sont qualitatifs nominaux mais ils peuvent être accompagnés d'une notion de sens (direction) les rendant de nature ordinale. Notons, par exemple, le terme « salé » est défini comme un atout ou un défaut. En association avec un terme quantitatif comme « trop » voire « pas assez », le consommateur a ainsi la capacité de quantifier la perception salée. De ce fait, il a été possible d'expliquer la classe C2 qui apprécie plus particulièrement les fromages SB car ils sont « doux » et cela a permis de mieux comprendre leur rejet pour les fromages SA qualifiés de « trop salés » et « trop amers ». Ces résultats confortent ceux identifiés dans la littérature menés sur d'autres types d'aliments (pomme, desserts lactées). Même si notre approche basée sur les fréquences des occurrences diffère de celle utilisée par Symoneaux et al. (2012) réalisant une analyse plus approfondie du tableau de contingence permettant ainsi d'identifier les modalités significatives qui décrivent les préférences de chaque échantillon, nous avons pu établir un lien entre les commentaires libres et les préférences des classes de consommateurs.

### 3.5.3. Explication des préférences en lien avec les perceptions d'intensité gustatives

Le tableau 35 présente les moyennes d'intensité pour chaque perception évaluée sur les fromages selon les conditions de traitement et selon les classes de consommateurs. Les moyennes montrent une tendance similaire quelle que soit la classe de consommateurs. Les fromages, à froid ou à chaud, présentent une dominance salée et amère. L'acidité et le piquant ont été évalués plus faiblement que les deux saveurs précédentes par l'ensemble des 3 classes de consommateurs (notes < 2,7). Les trois classes ont également perçu l'intensité des 4 attributs gustatifs comme plus prononcée dans les fromages SA que dans les fromages SB. Toutefois, aucune différence significative de notation sur ces intensités n'est observée entre les classes ( $p > 0,05$ ).

Tableau 35 : Moyennes des notes d'intensité des différentes saveurs pour chaque fromage (SA et SB) et pour chaque classe de consommateurs

Classes	Condition de température	Salé		Amer		Acide		Piquant	
		SA	SB	SA	SB	SA	SB	SA	SB
C1	20°C	5,1	3,9	4,5	2,4	2,6	1,8	2,8	1,7
C2	20°C	5,1	3,4	4,6	2,1	2,5	1,6	2,4	1,2
C3	20°C	5,1	3,9	5,6	2	2,8	1,5	2,5	1,3
C1	200°C	5,6	4	4,5	2,4	2,5	1,9	2,8	1,7
C2	200°C	6,0	3,9	4	1,9	2,4	1,7	2,4	1,3
C3	200°C	6,3	4,3	4,7	1,9	3	1,6	2,4	1,4

Trois ACP réalisées (non présentées) sur les notes d'appréciation et les notes d'intensité de saveur des fromages selon leur condition de traitement pour chacune des classes ont été réalisées. Les notes d'appréciation ne sont pas corrélées avec l'intensité des saveurs perçues pour l'ensemble des 3 classes. L'intensité des propriétés gustatives semble être indépendante des notes d'appréciation. Ces résultats sont assez surprenants. D'après les résultats précédents, les saveurs ont été identifiées clairement comme des éléments clés contribuant à l'acceptabilité de certains fromages et plus particulièrement pour les fromages à froid. Cependant, ce phénomène n'est pas retrouvé avec la notation des perceptions gustatives. Il était attendu que l'amertume et le salé jouent un rôle sur l'appréciation globale sachant que les consommateurs ont perçu des différences entre les deux types de fromages. Même si les groupes de consommateurs sont capables d'identifier des différences de perceptions gustatives entre les fromages, il semblerait que ces informations ne contribuent pas à bien expliquer leurs préférences. Pourtant de nombreuses études montrent que les « déterminants » des préférences sur différents fromages sont généralement les saveurs suivies par la texture (Young et al. 2004; Caspia et al. 2005; Liggett et al. 2008; Childs and Drake 2009). Dès 1995, Moskowitz et Krieger ont montré la contribution des appréciations hédoniques de certains attributs sensoriels sur les préférences globales. En 2004, Young et al observent des résultats semblables sur le Cheddar en montrant plutôt un lien entre les préférences globales et les préférences des saveurs. Malgré une

variabilité interindividuelle sur les critères sensoriels et selon le type d'aliments testés, le goût/flaveur et la texture sont des éléments très importants pour déterminer les préférences. Comme le soulignent Moskovitz (2001) et Menichelli et al. (2013), le nombre d'appréciations spécifiques doit être restreint et non redondant pour éviter un biais sur les préférences globales. En regardant l'ensemble des études menées sur d'autres types de fromages pour identifier les éléments clés permettant d'expliquer les préférences globales, il apparaît que beaucoup sont mises en relation avec les appréciations d'attributs spécifiques. Toutefois, moins d'études mettent en relation l'appréciation globale et les notes d'intensité sur différents attributs. D'après Popper et al. (2004), les questions sur l'intensité ne devraient pas affecter l'appréciation globale étant donné que ces questions ne sont pas d'ordre affectif. Elles pourraient modifier les réponses d'appréciation lorsque ces deux types de questions sont posés au cours d'une même séance (Popper et al. 2004). A l'inverse, Vickers et al (1993) ne montrent pas d'effet de ce type de question sur l'appréciation globale. Dans notre questionnaire, ces questions ont été posées après l'appréciation globale mais au cours de la même séance, ce qui semble ne pas avoir influencé les réponses sur les préférences.

Les variables intrinsèques liées aux qualités du produit ont montré leur importance et leur rôle dans les préférences des consommateurs vis-à-vis des fromages à froid ou à chaud. La deuxième approche est d'utiliser des variables comportementales et déclaratives pour enrichir l'explication des préférences des consommateurs et comprendre les différences d'acceptabilité entre les fromages selon les conditions de traitement. Pour cela, les différentes questions en lien avec leurs habitudes de consommation, leurs attentes et leurs comportements vis-à-vis certains aliments vont être exploités dans la partie suivante.

### **3.5.4. Explication des préférences en lien avec leurs attirances alimentaires**

#### ***3.5.4.1. Classification des dominances gustatives déclaratives des aliments***

L'objectif est d'identifier si les classes précédemment établies ont une attirance particulière pour les saveurs, estimées à partir de l'attirance pour des aliments choisis comme ayant une saveur dominante permettant ainsi de justifier leurs préférences. En d'autres termes, les personnes qui aiment les fromages amers et salés ont-ils une attirance naturelle vis-à-vis des aliments ayant une dominance gustative spécifique. Les aliments cités dans le questionnaire, soit 22 aliments, ont été proposés selon leur catégorisation sur la saveur a priori dominante (annexe 3).

La première étape a été de mesurer par catégorie de saveurs la perception déclarative de l'intensité gustative des différents aliments cités dans le questionnaire. A titre d'exemple, à quel niveau d'intensité percevez-vous l'acidité du citron ? Ces mesures ont été réalisées sur une échelle

structurée de 1 à 9. Suite à la CAH réalisée sur les scores d'intensité gustative ressentie, 4 classes ont pu être établies (figure 53) :

- Groupe 1 : pamplemousse, café, chocolat noir, endive cuite, endive crue, salade frisée et bière : **pôle amer**
- Groupe 2 : gingembre, piment, cornichon, citron et groseille : **pôle piquant/acide intense**
- Groupe 3 : chorizo doux, radis, yaourt, concombre crue, choucroute : **pôle piquant/acide peu intense**
- Groupe 4 : Gâteaux apéritifs, chips, fromage, saucisson et jambon sec : **pôle salé**

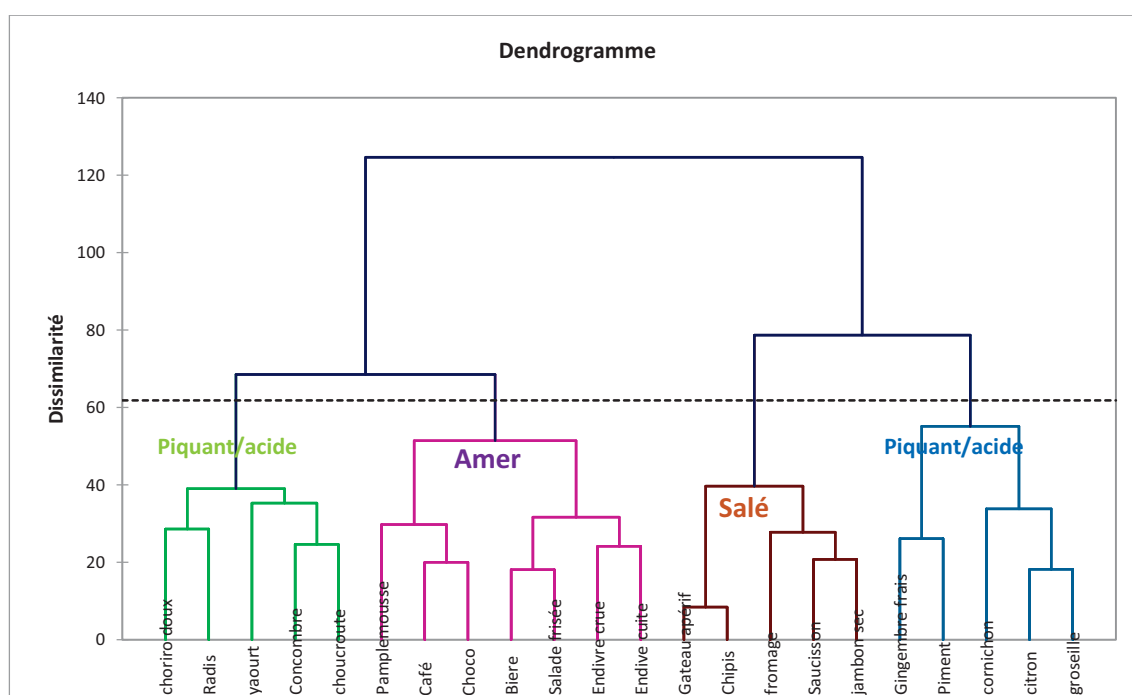


Figure 53 : Dendrogramme issu de la CAH réalisée sur les notes d'intensité gustatives ressenties par les consommateurs dans certains aliments

D'après ces résultats, les aliments salés ont été regroupés. Pour la saveur amère, la majorité des aliments identifiés comme amer sont regroupés, excepté le concombre. En revanche, il semble exister une confusion entre l'acidité et le piquant. L'acidité est une saveur complexe, qui selon la nature de la molécule peut contribuer à des notes astringente ou piquante. Dans certains fromages, l'acide acétique ou propionique peut donner une sensation piquante (Woo et al. 1984). Par ailleurs, dans d'autres aliments, la perception acide peut être diminuée par le sucré et ainsi équilibrer le profil aromatique (Martin 2002). Ces classes ont été faites sur des classements a priori. Contrairement aux tables qui répertorient les aliments en fonction de leurs valeurs énergétiques ou caloriques, peu de tables concernent le classement des aliments selon leurs profils gustatifs. Très récemment, Martin et al. (Martin et al. 2014) ont mis au point une base de données sur 590 d'aliments couramment consommés pour établir un profil gustatif à l'aide d'une méthode innovante. Cette méthode basée sur la méthode Spectrum™ utilise des échelles universelles et les profils se réalisent à domicile par



un jury entraîné. D'après cette étude, les 590 aliments ont pu être classés en différents groupes pour lesquels les 5 saveurs ainsi que le gras sont identifiés. L'avantage de cette méthode permet d'obtenir un profil gustatif complet de l'aliment. Un aliment est défini par une association de plusieurs saveurs plus ou moins exprimées. Sur les 6 groupes identifiés, ils observent un groupe à dominance plus salé/umami et gras et moins amer/acide et sucré. A contrario, un groupe est dominé uniquement par l'amertume. Le tableau 36 relève les notes d'intensité pour les saveurs dominantes pour les aliments cités dans notre questionnaire et ceux évalués par la méthode Spectrum™ d'après Martin et al. (2014).

Même si la méthode, l'échelle de mesure et les attributs gustatifs ne sont pas identiques dans notre étude, des similitudes gustatives sont observées pour certains aliments. Globalement, les saveurs dominantes ressenties par les consommateurs de ce panel sont en concordance avec la méthode Spectrum™ et la catégorisation faite a priori. Toutefois, l'intensité exprimée est différente entre les deux méthodes. Certains aliments ont été perçus de la même façon comme le citron. Celui-ci a été perçu très acide avec une légère amertume avec la méthode Spectrum™. D'après leurs perceptions déclaratives, les consommateurs ont également déclaré que le citron était très acide. L'approche par la méthode Spectrum™ permet une caractérisation gustative plus approfondie des aliments permettant ainsi de montrer que le goût d'un aliment est bien un ensemble ou une association de saveurs. Dans le cas des aliments complexes comme le chocolat, deux saveurs coexistent : l'amer et le sucré mais aussi le gras.

Tableau 36 : Comparaison des notes d'intensité issues de la méthode Spectrum™ par rapport à l'intensité déclarée et ressentie par les consommateurs

	Méthode Spectrum™	Intensité perçue (déclarative)
<b>Pamplemousse</b>	Acide = 3,3 ; Amer = 2,3	Amer = 6,1
<b>Café</b>	Amer = 2,17	Amer = 5,3
<b>Chocolat noir (70% de cacao)</b>	Sucré = 2,78 ; Amer = 3,47 ; Gras = 3,16	Amer = 5,9
<b>Endive cuite</b>	Salé = 3,70 ; Acide = 2,75 ; Amer = 3,35	Amer = 5,8
<b>Endive crue</b>	Salé = 2,76 ; Acide = 2,03 ; Amer = 2,05	Amer = 5,2
<b>Concombre cru</b>	Salé = 2,35 ; Amer = 1,27	Amer = 3,6
<b>Bière</b>	Amer = 6,00	Amer = 5,4
<b>Frisée</b>	Salé = 1,94 ; Amer = 1,28 ; Acide = 1,53	Amer = 5
<b>Saucisson</b>	Salé = 4,70 ; Gras = 3,52	Salé = 6,3
<b>Gâteaux apéritifs</b>	Non défini	Salé = 7,3
<b>Chips</b>	Salé = 4,54 ; Gras = 3,19	Salé = 8
<b>Jambon sec</b>	Salé = 3,70 ; Gras = 2,53	Salé = 7,4
<b>Fromage type bleu</b>	Salé = 2,60 ; Amer = 2,90	Salé = 6,2
<b>Yaourt</b>	Acide = 4,13	Acide = 3,9
<b>Citron</b>	Acide = 8,90 ; Amer = 4,10	Acide = 8
<b>Groseille</b>	Acide = 5,80	Acide = 6,7



<b>Choucroute</b>	salé = 3,96 ; Acide = 2,45 ; Amer = 1,24	Acide = 4,8
<b>Radis</b>	Acide = 0,83 ; Amer = 0,95	Piquant = 5,5
<b>Cornichon</b>	Non défini	Piquant = 6,6
<b>Chorizo</b>	Salé = 4 ; Gras = 5	Piquant = 4,7
<b>Gingembre</b>	Non défini	Piquant = 6,6
<b>Piment</b>	Non défini	Piquant = 8,2

A partir de ces résultats, 3 pôles gustatifs ont été retenus ayant un sens au niveau sensoriel. Ainsi l'ensemble des aliments perçus comme acide et piquant a été regroupé en un seul pôle acide / piquant.

- Pôle amer (8 aliments) : pamplemousse, café, chocolat noir, endive cuite, endive crue, salade frisée, bière et concombre
- Pôle acide/piquant (9 aliments) : gingembre, piment, cornichon, citron, groseille, chorizo doux, radis, yaourt et choucroute
- Pôle salé (5 aliments) : gâteaux apéritifs, chips, fromage type « Bleu », saucisson et jambon sec

#### **3.5.4.2. Construction des scores d'attirance**

Afin d'étudier le lien entre les préférences des classes de consommateurs et leurs attirances alimentaires, des variables synthétiques (scores) ont été créées pour chacun des 3 pôles gustatifs constitués. Tout d'abord, une analyse factorielle a été réalisée pour valider les items pertinents représentant chaque pôle gustatif. L'analyse factorielle est une méthode de structuration des données qui permet de regrouper des variables en de nouvelles composantes principales ou facteurs. Par ailleurs, pour valider la consistance interne de l'échelle, l'alpha de Cronbach a été identifié. Après avoir vérifié la pertinence des items pour chaque pôle gustatif, un score a été calculé pour chacun d'eux en moyennant les notes des attirances pour les aliments représentant un pôle gustatif.

#### **3.5.4.3. Construction des scores d'intensité**

Les questions en relation avec les intensités déclaratives sur les 22 aliments ont été réutilisées pour construire des scores d'intensité de la même manière que pour les scores d'attirance. Cela permet de mettre en relation les classes de consommateurs et les intensités que ces derniers perçoivent dans les aliments cités dans notre étude.

#### **3.5.4.4. Résultats**

Les résultats issus de l'analyse factorielle sont représentés dans le tableau 37 qui expose l'alpha de Cronbach mesuré pour chaque pôle gustatif et les items retenus pour les attirances et l'intensité ressentie. Globalement, une seule dimension permet d'expliquer les différents aliments représentant chaque pôle gustatif selon les attirances et l'intensité perçue des aliments.

Tableau 37 : Nombre d'items sélectionnés après l'analyse factorielle exploratoire par pôle gustatif, consistance interne (alpha de Cronbach) et détail des items

Pôles gustatifs	Attirances pour les aliments (sans dégustation)	Intensité perçue dans les aliments (sans dégustation)
Pôle salé	4 items ( $\alpha=0,73$ ) : saucisson, chips, jambon sec et gâteaux apéritifs	5 items ( $\alpha=0,85$ ) : saucisson, chips, jambon sec et gâteaux apéritifs, fromage « Bleu »
Pôle acide/piquant	7 items ( $\alpha=0,70$ ) : citron, groseille, cornichon, gingembre, radis, piment et chorizo doux	8 items ( $\alpha=0,76$ ) : citron, groseille, cornichon, gingembre, radis, piment et chorizo doux, yaourt et choucroute
Pôle amer	5 items ( $\alpha=0,71$ ) : concombre, pamplemousse, endive cuite et crue, salade frisée	8 items ( $\alpha=0,81$ ) : concombre, pamplemousse, endive cuite et crue, frisée, chocolat noir, bière et café

Les résultats de l'ANOVA réalisée sur les scores d'attirance (3 scores d'attirance) et les scores d'intensité (3 scores d'intensité) sont regroupés dans le tableau 38.

Tableau 38 : Résultats de l'ANOVA (p-value) à 1 facteur réalisé sur les classes de consommateurs

Classe de consommateurs	Int_Amer	Int_Salé	Int_Acide/piquant	Att_Amer	Att_Salé	Att_Acide/piquant
p-value	0,171	<b>0,001</b>	<b>0,019</b>	0,958	0,584	0,487

(Int= intensité ; Att = Attirance)

En ce qui concerne la perception de l'intensité du pôle salé et acide/piquant, une différence significative de scores existe entre les classes. **La classe C1** donne un score plus haut pour le pôle salé (7,4) que **la classe C2** (6,6). Cette dernière classe donne également un score légèrement plus bas (6,6) par rapport à **la classe C3** (7,0) pour le pôle acide/piquant.

**Ces résultats semblent indiquer que les attirances alimentaires pour certains aliments (ceux cités dans notre étude) ayant une caractéristique gustative dominante ne permettent pas d'expliquer les préférences des consommateurs vis-à-vis des fromages. En revanche le lien avec les intensités ressenties pour certains aliments fait ressortir le pôle salé et le pôle acide/piquant, qui permettent ainsi de caractériser les classes C1 et C3.** Même si la classe C1 donne un score plus élevé pour le pôle salé, existe-t-il réellement un lien de cause à effet ? Cette classe a-t-elle l'habitude de consommer des aliments plus salés et de ce fait, apprécient-elles les aliments salés ou plus salés ? Il a été mis en évidence que la sensibilité individuelle au goût salé pouvait être en lien avec les préférences et la consommation de produits salés. En effet, la perception

de l'intensité salée et les préférences peuvent être influencées selon l'exposition aux aliments riches en sodium. D'après Bertino et al. (1986), une exposition aux produits riches en sodium augmente l'appréciation des aliments ayant une teneur en sodium élevée. Toutefois, les préférences pour les aliments riches en sodium dépendent de la nature des aliments mais aussi du contexte. Hayes et al. (2010) mettent en évidence la variation de la perception salée selon le type d'aliments. Ils montrent par exemple que dans les fromages, les préférences ne sont pas reliées à la perception salée. Le fait que des personnes apprécient les fromages salés seraient dû à l'action des ions sodium qui masquent l'amertume de certains fromages. Concernant le score d'intensité sur le pôle acide/piquant qui varie selon le groupe de consommateurs, peu d'explications peuvent être émises. Est-ce que la classe C3 est plus exposée aux aliments qui composent ce pôle ou est-elle plus sensible ? Certaines études ont montré que les préférences pour l'acidité sont reliées à la consommation de produits acides (Moskowitz et al. 1975; Liem et al. 2006)

### **3.5.5. Explication des préférences en lien avec les données sociodémographiques, les attentes et les comportements de consommation**

Cette dernière approche vise à identifier des relations entre les attentes des consommateurs vis-à-vis des fromages à froid et à chaud, leur comportement de consommation vis-à-vis du fromage en général et aussi vis-à-vis des aliments qui ont servi à l'élaboration des pôles gustatifs.

A notre connaissance, aucune information scientifique n'est disponible sur les attentes des consommateurs vis-à-vis de la Fourme d'Ambert à froid et à chaud. C'est pourquoi des questions complémentaires à celles des questions de dégustation ont été posées afin de pouvoir mesurer ces attentes sensorielles. Sept descripteurs dont 5 en commun entre les fromages à froid et à chaud ont été mesurés (annexe 3). L'analyse des résultats sur ces différents critères montre des différences d'attente entre les classes de consommateurs. Au niveau de la texture et de l'apparence, les 3 classes de consommateurs recherchent des critères similaires quelle que soit la température à laquelle la Fourme d'Ambert est utilisée. Ils attendent une Fourme crémeuse (à froid ou à chaud) avec une quantité de persillage « bleu » importante. A chaud, la fourme doit être filante et nappante. En revanche, en bouche, les attentes sont différentes selon les classes de consommateurs. **La classe C1** s'attend à avoir un goût plutôt intense, avec un goût salé et moyennement amer aussi bien à froid qu'à chaud. A l'opposé, **la classe C3** est en désaccord avec ces qualités et préfère une fourme avec des qualités aromatiques moins prononcées (peu salé, peu amère et un goût moyennement intense) aussi bien à froid qu'à chaud.

Ces informations semblent corroborer les précédentes et confirment le fait que la **classe C1** apprécie plus particulièrement les fromages avec un goût prononcé. A l'inverse, les préférences de la **classe**

**C3** correspondent bien à leurs attentes. En revanche, pour la **classe C2** qui préfère le fromage à chaud, elle attend un fromage moyennement intense, peu salé avec une légère amertume.

Le croisement entre les classes, les données sociodémographiques, les fréquences de consommation de fromages et les fréquences de consommation de différents aliments permet d'identifier peu de liens significatifs. Toutefois, les classes ont été caractérisées par la valeur-test pour chacune de ces variables testées. Le tableau 39 relève les caractéristiques significatives de chaque classe selon les variables sociodémographiques et les fréquences de consommation (fromages + les 22 aliments représentant les différents pôles gustatifs).

Tableau 39 : Caractéristiques significatives pour chaque classe selon les fréquences de consommation de fromages et les données sociodémographiques

	Sur-représentation par rapport à la moyenne de l'échantillon total	Sous-représentation par rapport à la moyenne de l'échantillon total
<b>C l a s s e 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Présente plus de personnes bac +5</li> <li>• Plus de personnes qui consomment du chocolat noir 1 fois/jour</li> <li>• Plus de personnes qui consomment moins d'1 fois par mois des radis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moins de retraités</li> <li>• Moins de consommateurs qui consomment du Roquefort moins d'une fois par mois</li> <li>• Moins de personnes qui consomment du Bleu d'Auvergne moins 1 fois par mois</li> <li>• Moins de personnes qui consomment 1 à 6 fois par semaine du camembert</li> <li>• Moins de consommateurs qui ne consomment jamais de bière</li> <li>• Moins de consommateurs qui ne consomment jamais de vin rouge</li> </ul>
<b>C l a s s e 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus de personnes qui consomment moins d'une fois par mois du fromage de chèvre</li> <li>• Plus de personnes qui consomment moins d'une fois par mois du Roquefort</li> <li>• Plus de consommateurs qui ne consomment jamais de Bleu d'Auvergne</li> <li>• Plus de consommateurs qui consomment 1 à 6 fois par semaine du camembert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moins de personnes qui consomment du thé 1 à 2 fois par jour</li> <li>• Moins de personnes qui consomment du chocolat noir 1 à 2 fois par jour</li> <li>• Moins de consommateurs qui consomment 1 à 3 fois par mois du pamplemousse</li> </ul>
<b>C l a s s e 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus de personnes qui consomment moins d'une fois par mois du Bleu d'Auvergne</li> <li>• Plus de personnes qui ne consomment jamais de groseilles</li> </ul>	Moins de personnes qui consomment 1 à 3 fois par mois la bière

Les facteurs socio-démographiques ne permettent pas de caractériser les classes de consommateurs. Généralement, ces critères apportent peu d'éléments et des résultats semblables sont obtenus dans de nombreuses études. Andreeva et al. (2013) étudient la relation entre des patterns de consommation des aliments amers selon des caractéristiques individuels tels que des facteurs sociodémographiques, de styles de vie et de santé. Certains de ces facteurs comme l'activité

physique ou le lieu de résidence ont pu être mis en relation avec les patterns de consommation des aliments amers (selon le sexe) mais ils ne permettent pas d'expliquer clairement ces modèles. Toutefois, il aurait été intéressant d'intégrer dans notre questionnaire certaines variables comme les éléments de styles de vie.

Concernant les données de consommation, la consommation de certains aliments semble être les plus en lien avec les patterns d'appréciation. La classe C1 présente plus de consommateurs qui consomment du chocolat noir régulièrement. De même, il y a moins de personnes qui ne consomment jamais de bière et de vin. Globalement, cette classe semble être plus à même de préférer des aliments « amers ». D'après les résultats de dégustation, cette classe apprécie les fromages amers, salés et acides.

Les caractéristiques de consommation pour les classes C2 et C3 expliquent plus difficilement leurs patterns d'appréciation. La classe C3 se caractérise par des personnes qui consomment moins de Bleu d'Auvergne (1 fois par mois) et plus de personnes qui ne consomment jamais de groseille. Ces modalités identifiées comme significatives ne permettent pas de comprendre les préférences des consommateurs pour les fromages doux. Pour la classe C2, les caractéristiques principales se basent sur leurs consommations de fromages et plus spécifiquement sur les fromages de type « Bleu », la consommation de fromage de chèvre et sur le camembert. De plus, cette classe se démarque par une sous-représentation de personnes qui consomment moins de produits à dominance « amère » tels que le thé, le chocolat ou le pamplemousse. Toutefois, ces résultats ne peuvent pas permettre d'expliquer leurs préférences vis-à-vis des fromages à chaud. On aurait pu s'attendre à un lien avec la consommation de fromages consommés à chaud ou avec des fromages comme la Raclette ou la Mozzarella qui peuvent être utilisés comme fromages à chaud mais aucun lien significatif n'est ressorti.

D'autres types de questions auraient pu être posés pour permettre de mieux comprendre ces patterns de préférences. Pour prendre en compte toute la diversité des aliments amers, acides et salés, il aurait pu être intéressant d'élargir le questionnaire sur des aliments jugés amers, salés et / ou acides pour renforcer ce lien entre l'attirance naturelle et les préférences. Certains fruits ou légumes crucifères présentant une dominance amère notamment comme le chou-fleur, le brocoli ou les épinards auraient pu être intégrés lors de la mesure des préférences déclaratives. D'un autre côté, il aurait été possible de qualifier l'ensemble des facettes gustatives d'un aliment et non pas se limiter à une saveur unique et dominante. Comme l'a montré Martin et al. (2014), les classes d'aliments établies selon leurs profils gustatifs présentent une combinaison de saveurs. La notion de gras semble également être un élément essentiel à prendre en compte dans la description des aliments et dans l'acceptabilité (Duffy and Bartoshuk 2000). Le questionnaire établi par Deglaire et al. (2012) visant à mesurer l'attirance vis-à-vis des sensations de gras, de salé et de sucré a permis d'observer

des résultats sur la diversité des préférences pour le gras et montre que la préférence vis-à-vis du gras semble indissociable de la sensation sucrée. Enfin, il aurait pu être envisageable de mesurer l'attente des différents saveurs (sans dégustation) et de les relier à leurs perceptions gustatives (après dégustation). À noter, les attirances ont été déclaratives, un enregistrement de la consommation personnelle de chaque consommateur aurait pu apporter plus de précisions. Concernant les attitudes et le comportement d'achat, des questions supplémentaires concernant le lieu d'achat (grandes et moyennes surfaces (libre-service / coupe), marché, cave d'affineur) et les attentes au niveau de l'innovation des fromages « ingrédients » pourraient également être une piste potentielle pour trouver une explication aux différences de préférences des consommateurs.

## 4.CONCLUSION

La réalisation des tests hédoniques sur les fromages à pâte persillée à froid et à chaud a permis d'identifier les préférences des consommateurs et surtout de mettre en évidence les qualités sensorielles importantes dans l'explication des préférences sur des classes établies a posteriori. En partant de là, plusieurs constats peuvent être faits :

- Les préférences des consommateurs peuvent être différentes **selon le type de fromage mais aussi selon les conditions de traitement**. Les 3 classes définies témoignent de ce phénomène. Les fromages ne sont pas perçus de la même façon à froid et à chaud. Par contre, certains consommateurs font une distinction concernant le type de fromage dégusté à froid.

- Selon **l'usage des fromages, la nature des qualités sensorielles influencent sur les préférences**. Plus explicitement, pour les classes qui préfèrent les fromages à froid, les qualités gustatives et aromatiques semblent contribuer aux préférences. Les éléments comme le salé, l'amertume ou les arômes de bleu peuvent être cités. Au regard de la littérature, ces éléments confortent ceux identifiés sur d'autres fromages (Barcenas et al. 2001; Yeomans et al. 2008; Drake et al. 2009). Cette approche a également permis de mettre l'accent sur les qualités sensorielles impactant les préférences des fromages à chaud. Pour ce type de produits, la texture est primordiale. Les propriétés fonctionnelles comme le filant, le nappant, l'exsudation d'huile sont des éléments qui ont été corrélés positivement aux préférences. Les items gustatifs ne sont pas ressortis. A contrario, Childs et al. (2009) montrent que dans des produits semi-solides tels que des sauces aux fromages, les saveurs sont des éléments importants intervenant dans la construction des préférences au détriment de la texture.

- Par le biais des différentes approches apportées par des critères sensoriels, textuels et comportementaux, nos résultats démontrent que **les attributs sensoriels sont des éléments essentiels pour les consommateurs. Ils se sont révélés les plus efficaces pour expliquer les différences gustatives perçues par les consommateurs**. En complément, il apparaît que la

combinaison entre les termes issus des profils sensoriels (panel qualifié) et les réponses aux questions ouvertes des consommateurs aboutissent à des résultats globalement superposables mais également complémentaires. A l'aide de la cartographie des préférences, il est possible d'identifier et de relier les attributs sensoriels contribuant à expliquer les préférences. Toutefois, certains éléments peuvent manquer dans cette analyse car seuls les termes quantitatifs et descriptifs doivent être utilisés. En revanche, l'avantage des questions ouvertes permet d'employer des termes courants, compris et plus explicatifs pour les consommateurs. L'approche plus comportementale ou en lien avec les attirances alimentaires n'a pas abouti à expliquer notre hypothèse de base. Les pôles gustatifs constitués sur la base de quelques aliments à dominance gustative n'ont pas pu être corrélés aux préférences. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le nombre d'aliments sélectionné est faible par rapport à d'autres études. Par exemple, Duffy et al. (199) sélectionnent 83 aliments répartis en 3 groupes (aliments sucrés, amers et gras) pour pouvoir faire un lien entre l'acceptabilité des aliments et la variation génétique. Quant à l'étude menée par Logue et Smith (1986), 55 aliments sont sélectionnés pour lesquels les préférences sont évaluées sur une échelle structurée en 9 points. En revanche, 137 items sont proposés par Deglaire et al. (2012).

## **CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES**

---





Cette étude a donc traité de l'effet du chauffage sur les propriétés sensorielles des fromages à pâte persillée et des conséquences sur les préférences des consommateurs et cela plus particulièrement sur la Fourme d'Ambert. Aucune donnée scientifique ne décrit ces effets sur ce type de produit. C'est pourquoi, cette démarche s'est voulu exploratoire et innovante et de là, à susciter plusieurs interrogations. Voici les conclusions générales de ces travaux et les réponses obtenues aux questions posées.

## 1. CONCLUSION GENERALE

### Typologie de la diversité sensorielle et biochimique de 4 fromages à pâte persillée AOP du Massif Central

#### *Comment se caractérisent les différentes catégories de fromages à pâte persillée à chaud et à froid ?*

Le screening sensoriel et biochimique de différents fromages à pâte persillée du Massif central a permis de mettre en évidence une diversité sensorielle au sein de cette classe technologique. Dans un premier temps, ces résultats ont apporté une connaissance sur le comportement à froid et à chaud des fromages à pâte persillée autres que les fromages généralement étudiés dans la littérature comme la Mozzarella ou le Cheddar par une approche sensorielle. Cette méthode a permis d'identifier des similitudes entre certains types de fromages à pâte persillée. Tout d'abord, **à froid**, les deux « Bleus » présentent des profils sensoriels proches marqués par des saveurs salée, amère et une puissance aromatique intense. En revanche, les profils des deux fourmes, présentant des différences sensorielles entre elles, sont éloignés de ceux des « Bleus ». La Fourme de Montbrison est un fromage à part qui se distingue autant par son visuel, par ses arômes (peu développés) que par sa texture (peu crémeuse, granuleuse). La Fourme d'Ambert présente un profil de saveurs avec des intensités modérées et une texture ferme et peu crémeuse. Ces informations sensorielles à froid complètent celles obtenues avec les données instrumentales réalisées par Jacquot et al. (2014) pour lesquelles ils distinguent les mêmes catégorisations entre les fromages à l'aide d'un banc d'imagerie multi spectrale. **A chaud**, des comportements similaires à ceux observés à froid ont été identifiés entre les 4 catégories. Plus spécifiquement, la catégorie « Bleus » se regroupe et comme à froid, elle se distingue par ses propriétés texturales et ses saveurs prononcées. De la même manière, la Fourme de Montbrison s'écarte des autres catégories se démarquant par un profil aromatique peu intense. Outre le fait que le chauffage affecte sans surprise la texture, il modifie également la perception de certaines saveurs. Chauffés, les fromages montrent des différences significatives concernant leurs propriétés texturales. Les « Bleus » sont des fromages avec de bonnes aptitudes culinaires ayant une bonne capacité à s'étaler et à filer contrairement à la Fourme de Montbrison, présentant en plus, une

exsudation d'huile plus conséquente que les autres fromages. Quant à la Fourme d'Ambert, c'est un fromage aux aptitudes intermédiaires qui présente une capacité moyenne à filer et à s'étaler.

Cette approche sensorielle a ainsi permis de mesurer et d'identifier des propriétés similaires aux propriétés technologiques définies dans la littérature et communément par les méthodes instrumentales tels que le filant, l'étalement ou l'exsudation. Qui plus est, l'utilisation de cette méthode sensorielle semble avoir été convaincante et a apporté une richesse aussi bien qualitative que quantitative sur le comportement à chaud des fromages à pâte persillée. Outre les qualités technologiques (filant, étalement), d'autres indicateurs liés à la texture (onctuosité, crémeux) ou à la flaveur (amer, arôme global) ont été caractérisés, indicateurs non identifiables avec les mesures instrumentales. Ainsi, il a été possible de mettre en évidence la diversité sensorielle des différentes catégories de fromages à pâte persillée et de définir leurs aptitudes technologiques et culinaires. Cette approche apporte de nouvelles données jusque-là seulement identifiées sur des fromages plus répandus comme le Cheddar ou la Mozzarella et semble ainsi être un bon outil pour contrôler les fromages à chaud.

Cette diversité s'exprime également au niveau biochimique. Ces différences sont apportées par les procédés technologiques utilisés (type de ferments, durée de maturation, technique de salage). La mise en relation des données sensorielles avec celles issues de la physico-chimie a permis d'expliquer certains comportements sensoriels à chaud. L'étalement à chaud a pu être relié, comme pour les mesures instrumentales, au degré de protéolyse des fromages. Côté gustatif, le salé peut être relié à la quantité de sel présent dans les fromages et l'amertume est corrélée avec la quantité d'azote soluble. Toutefois, tous les paramètres biochimiques ne reflètent pas la totalité des sensations sensorielles perçues dans les fromages.

Si la première partie de cette étude a permis d'apporter des connaissances générales sur le comportement à froid et à chaud de différents types de fromages à pâte persillée, la deuxième partie de cette démarche a permis d'expliquer spécifiquement l'effet du chauffage plus particulièrement sur un modèle fromage pour lequel des paramètres technologiques ont été fixés.

## **Impact du chauffage sur les perceptions sensorielles et gustatives des fromages entiers et des fractions solubles**

### **Quel est l'impact du chauffage sur les perceptions sensorielles et les perceptions gustatives ?**

Comme pour la première partie, les propriétés sensorielles de deux types de Fourme d'Ambert ont été définies selon deux conditions de traitement thermique et selon 3 stades de commercialisation.

Cette caractérisation sensorielle s'est réalisée avec une méthode classique (profil conventionnel).

Les principaux résultats montrent tout d'abord un effet « type de fromages » important apporté par le choix des souches utilisées dans la fabrication des fromages. La différence majeure entre les deux

types de fromages s'est faite principalement au niveau de l'intensité des saveurs : les fromages SA ont des saveurs plus prononcées que celles des fromages SB à froid. A chaud, les mêmes observations ont pu être établies. De plus, cette caractérisation à chaud a permis de mettre en évidence les propriétés texturales et d'identifier une très bonne aptitude à filer pour les fromages SB par rapport aux fromages SA. Cette différence semble provenir également de la souche utilisée impactant sur la protéolyse. Au-delà de son effet sur la texture, le chauffage a modulé l'intensité de certaines saveurs (odeur globale, odeur lactique, arôme moisi et amer). Cependant, l'effet de la température n'est pas généralisable sur l'ensemble des saveurs et dépend fortement de la nature des composés sapides mais aussi de la matrice utilisée. A titre d'exemple, la saveur amère est perçue de manière plus intense à froid qu'à chaud. A l'inverse, l'acide est légèrement plus intense à chaud qu'à froid. Au niveau des arômes, nos résultats concordent avec ceux identifiés dans les fromages à froid pour lesquels la température affecte les composés aromatiques selon leur volatilité et selon leur polarité.

En complément du profil classique, la méthode DTS a été appliquée pour suivre l'évolution des saveurs au cours de la dégustation. Cette méthode a apporté des éléments nouveaux sur le comportement et la dynamique des saveurs à chaud. Selon le cas illustré dans ce rapport (pour le fromage SA à 35 jours), sous l'effet du chauffage l'amertume est intensifiée après déglutition, phénomène qui n'avait pas été mis en évidence avec le profil classique tandis que l'intensité des autres saveurs est diminuée. Cette méthode, jamais appliquée sur ce type de produits, semble être un complément au profil sensoriel pour analyser les modifications des saveurs dans un produit qui évolue rapidement en raison de son refroidissement.

### **Quel est l'impact du chauffage sur la libération des molécules sapides dans les fractions solubles et quelles en sont les conséquences sensorielles?**

L'analyse des fractions solubles à froid a permis de mettre en évidence leur rôle dans la perception gustative des fromages à pâte persillée. Les principales saveurs, salée, amère, acide et la sensation piquante ont été retrouvées dans la fraction soluble. En revanche, alors qu'un effet du chauffage est observé sur le fromage entier, il n'a pas été retrouvé pour les fractions solubles. Aucune différence gustative ne s'est révélée significative selon les deux conditions de traitement thermique.

A l'inverse, l'analyse des macros et microéléments révèle un contraste entre les deux fractions solubles selon les deux conditions de traitement. La composition de certains éléments comme les minéraux (Ca, Mg, K) est influencée par la température. Malgré cet effet de composition entre les deux fractions selon les conditions de température, les profils gustatifs des fractions n'ont pas été modifiés. Comme il a été suggéré, ces différences concernant la teneur de certains éléments entre les deux fractions peuvent être dues à la matrice. En effet sous l'influence du chauffage de nouvelles

liaisons se créent, il y a un réarrangement de la structure ce qui pourrait permettre la mobilité de certains composés solubles dans la fraction soluble. De plus, cette faible différence de concentrations ne semble pas impacter la perception, raison pour laquelle les profils gustatifs des fractions sont similaires à froid et à chaud. Les résultats biochimiques ont souligné un effet non négligeable de la part des stades de commercialisation pour lesquels il est possible de visualiser un gradient selon ces stades.

### **Existe-t-il une relation entre la composition des fractions solubles et leur perception gustative ?**

Notre approche statistique basée sur des corrélations linéaires n'a pas permis d'observer un lien entre les données biochimiques et les données sensorielles des fractions solubles. Ce type de relation ne permet pas de prendre en compte les interactions sensorielles qui peuvent moduler les perceptions. De plus, les variations de concentrations des composés sont faibles et d'un point de vue physiologique, ces faibles variations ne peuvent être détectées et sont plus basses que le seuil différentiel. Cependant, le calcium et l'amertume ont été corrélés positivement ce qui conforte le rôle du calcium dans la contribution de l'amertume. Globalement, la fraction soluble ne semble pas contribuer à expliquer l'effet du chauffage sur les perceptions gustatives. La matrice fromagère semble être plus importante dans l'explication de l'effet du chauffage. C'est pourquoi une analyse de la macrostructure pourrait compléter cette étude et apporter des éléments explicatifs favorables à cet effet.

En dernier lieu, nous avons étudié les préférences des consommateurs vis-à-vis des fromages à pâte persillée selon les deux conditions de traitements.

### **Impact du chauffage sur la perception et les préférences des consommateurs**

#### **Les modifications sensorielles induites par le chauffage influencent-elles les préférences des consommateurs ?**

Les deux mêmes types de Fourmes d'Ambert à 3 stades de commercialisation différents et selon deux conditions de température ont été testés par plus de 150 consommateurs. Une approche hédonique globale a permis de constater des préférences semblables selon les conditions avec une légère préférence significative pour les fromages à chaud pour lesquels le consensus est plus important. Les fromages ont été aussi bien appréciés visuellement qu'en bouche. Par la suite, la segmentation des consommateurs selon leurs appréciations globales a permis de constituer 3 groupes reflétant des préférences spécifiques pour les fromages à froid ou à chaud. Un premier groupe a présenté des préférences exclusives pour les fromages à chaud tandis que les deux autres

groupes ont plutôt appréciés les fromages à froid. Les préférences des deux derniers groupes sont dépendantes du type de fromages testés.

## **Quels sont les attributs sensoriels qui déterminent les préférences des consommateurs ?**

### **Texture, saveur, arôme ?**

Les qualités sensorielles, définies par deux approches, ont pu expliquer les préférences des différents groupes. La première s'est faite en reliant les descripteurs issus des profils sensoriels et les préférences globales par une cartographie externe des préférences. Le filant a contribué à expliquer les préférences du groupe de consommateurs appréciant le plus les fromages à chaud ceci contrairement aux deux autres groupes pour lesquels les qualités gustatives ont été les facteurs déterminants dans les préférences des fromages à froid.

Dans une deuxième approche, nous avons étudié les réponses des consommateurs aux questions ouvertes. Cette approche a renforcé les résultats de la cartographie des préférences et a apporté des termes supplémentaires, propre au langage utilisé par les consommateurs pour mieux comprendre les préférences de certains groupes. Ces questions ouvertes semblent être un bon complément à la méthode de la cartographie externe des préférences.

Cette étude a ainsi pu montrer et valider le fait que les qualités sensorielles, quelles que soient les conditions de température, sont des facteurs importants et impactant les préférences des consommateurs.

Enfin en dernière approche, nous avons exploité les données comportementales et attitudinales issues du questionnaire déclaratif pour comprendre ces préférences.

## **Les préférences gustatives peuvent-elles être reliées avec l'attirance de certains produits ?**

### **L'attirance naturelle pour certains produits (produits salés, amers) peut-elle justifier les préférences et expliquer celles qui sont spécifiques aux fromages ?**

Les facteurs socio-démographiques ou le lien avec les habitudes de consommation sont généralement des éléments utilisés pour caractériser les groupes de consommateurs même si ces facteurs sont souvent peu effectifs. Dans notre étude, quelques relations ont pu caractériser certaines des classes mais sans réellement donner un sens aux résultats.

En complément de ces paramètres, nous avons émis l'hypothèse que l'attirance naturelle pour certains produits pouvait ainsi influencer les préférences sur des produits ayant de forte dominance gustative comme l'amertume et le salé. Construit sur 22 aliments, les scores d'attirance par pôle gustatif identifié n'ont pas permis de faire un lien avec les groupes de consommateurs. En revanche, les intensités des aliments définissant le pôle salé et le pôle acide/piquant ont pu caractériser ces

classes de consommateurs. Toutefois, ces différences de perception d'intensité ne permettent pas de faire un lien de cause à effet avec les préférences.

Ainsi, cette étude consommateurs a apporté des informations sur les préférences des consommateurs sur un nouveau segment de valorisation des fromages : les fromages « ingrédients ». Cette approche a contribué à définir une segmentation des consommateurs selon leurs préférences globales tout en déterminant les attributs sensoriels majeurs expliquant ces préférences spécifiques. Le chauffage a ainsi montré son influence sur les préférences des consommateurs sur les fromages à pâte persillée. Par ailleurs, cette étude consommateurs a montré que les qualités intrinsèques des produits sont primordiales dans l'explication des préférences par rapport aux facteurs extérieurs.

Cette première approche sur les fromages à chaud laisse prévoir des perspectives intéressantes pour approfondir ce sujet.

## **2.PERSPECTIVES**

### **Perspectives scientifiques**

D'une manière globale la diversité sensorielle des fromages à pâte persillée existe aussi bien à froid qu'à chaud. Il a pu être démontré que les fromages à pâte persillée présentaient des propriétés fonctionnelles recherchées comme celles identifiées dans des fromages « ingrédients » tels que la Raclette, la Mozzarella au moyen de l'analyse sensorielle. Ainsi, l'étude des comportements à chaud pourrait s'étendre aux autres fromages AOP du Massif central pour valoriser ces fromages dans différentes préparations culinaires. En effet, il serait intéressant de comparer des fromages issus de différentes classes technologiques (fromages à pâte pressée cuite ou pressée non cuite) et d'identifier leurs propriétés texturales mais aussi de flaveur. Pour mieux comprendre l'effet du chauffage sur la structure des fromages à chaud, ces propriétés texturales pourraient être couplées à des mesures d'imagerie multi-spectrales pour expliquer ces phénomènes de filant et d'exsudation d'huile. Ces éléments pourraient apporter des informations complémentaires sur les relations structure-texture et ainsi adapter l'usage des fromages selon leur texture.

Dans notre étude les préférences des consommateurs se sont portées sur une catégorie de fromages à pâte persillée. Dans l'objectif de compléter ces travaux sur les préférences et sur les propriétés gustatives des consommateurs, il serait envisageable d'élargir le nombre et les types d'échantillons en proposant une diversité plus large de fromages à pâte persillée. Il serait possible d'inclure le Bleu d'Auvergne, qui présente une bonne aptitude à chaud mais avec une flaveur prononcée, généralement peu appréciée par les consommateurs. Par ailleurs, le Roquefort ou le Saint-Agur pourraient être également introduits, fromages à forte notoriété et qui semblent être les plus utilisés dans les recettes. Ce test pourrait confirmer si la texture est plus décisive que les flaveurs dans les préférences des fromages à chaud.



La méthode du DTS a su apporter des informations complémentaires à celles du profil sensoriel concernant la perception gustative après déglutition. Il serait donc intéressant de poursuivre l'étude sur d'autres attributs sensoriels notamment certaines notes aromatiques ou des attributs de texture comme le filant, l'onctuosité et le caoutchouteux. Par ailleurs, cette technique pourrait s'appliquer aux tests consommateurs. Très récemment, Thomas et son équipe ont mis au point une technique permettant d'identifier les préférences temporelles des consommateurs au cours de la dégustation (Thomas et al. 2015). Dans cette même optique, il pourrait être envisageable de mesurer les préférences temporelles sur les fromages à chaud et de les relier aux attributs dominants issus de profil DTS afin de voir si des descripteurs dominants peuvent conduire à une modulation des préférences au cours de la dégustation. D'après nos résultats, l'amertume apparaît en fin de déglutition, le consommateur perçoit-il cette amertume en fin de dégustation ? A quel moment le consommateur émet-il son jugement ? Donne-t-il un jugement global ou retient-il la dernière image perçue (certaines saveurs peuvent être rémanentes quelques secondes après déglutition) ? Toujours en lien avec les consommateurs, la piste sur les attirances naturelles pourrait être améliorée en élargissant la gamme de produits cités et en associant d'autres dimensions comme la notion de gras. Même si notre méthode d'extraction a été adaptée par rapport à celles utilisées par d'autres auteurs, il a été possible d'identifier le rôle de la fraction soluble dans la perception gustative des fromages à pâte persillée. Cet impact ne s'est pas répercuté au niveau des fractions solubles même si l'amertume a été la saveur la plus touchée par le chauffage dans les fromages entiers. Pour compléter cette partie, il serait intéressant d'étudier les fractions protéiques de ces fromages selon les conditions de traitement. Ces fractions protéiques ont été extraites et dégustées par le panel mais n'ont pas été prises en compte dans le rapport de thèse. Cependant, les premiers résultats de ces fractions protéiques (non présentés dans ces travaux) ont montré qu'elles se caractérisaient par une dominance amère avec une diminution nette des autres saveurs. La composition en acides aminés et en peptides des fractions protéiques et solubles extraites serait à envisager afin d'identifier les composés jouant un rôle dans cette perception amère.

### **Perspectives industrielles**

Les résultats de ces travaux ont permis de mettre en évidence un effet « type de fromages » très important ainsi qu'un effet « stade de commercialisation » sur certaines perceptions sensorielles selon les conditions de traitement. Ces différences sont à prendre en compte par les industriels afin d'adopter des nouvelles stratégies de valorisation des produits et entrouvrir des pistes d'innovation en termes d'usages et de fonctionnalités des fromages à pâte persillée. Dans ce sens, il serait intéressant d'établir des protocoles d'usage variant selon le type de souche et selon les stades de commercialisation. En fonction de ces paramètres, les fromages à pâte persillée pourraient ainsi



intégrer différentes recettes culinaires et se développer comme Produits Alimentaires Intermédiaires (PAI). De plus, les bonnes aptitudes culinaires de la fourme, selon le type de souche utilisée, seraient un élément majeur à mettre en avant pour attirer de nouvelles cibles de consommateurs et les convaincre du potentiel culinaire qu'offre ce type de fromages. Le chauffage pourrait accentuer les propriétés texturales et engendrer une meilleure acceptabilité de la Fourme d'Ambert à chaud de la part des consommateurs. Cette nouvelle utilisation serait un bon levier pour renforcer l'image de la Fourme d'Ambert.

En tant qu'ingénieur d'études, ces travaux de thèse m'ont permis de développer et d'appliquer certaines méthodes et outils sensoriels au sein du laboratoire d'évaluation sensorielle de l'Unité de Recherche. Ils m'ont également permis d'approfondir ma formation à la Recherche en développant ma démarche scientifique et en renforçant mon raisonnement afin d'adapter mes choix face aux limites rencontrées. Pour finaliser et valoriser ces travaux, des publications scientifiques vont être rédigées. En parallèle, ces résultats ont déjà apporté des connaissances en rapport à la thématique de Recherche de notre UR CALITYSS et vont aboutir à une valorisation technique lors d'une présentation face aux professionnels de la filière. Par ailleurs, ces connaissances sur les fromages à pâte persillée m'ont également permis d'accompagner la Commission d'Examen Organoleptique du « Bleu d'Auvergne » pour développer et améliorer le vocabulaire en lien avec le goût et la texture de ces fromages.

## **ANNEXES**

---

**Annexe 1 : Lexiques utilisés pour la caractérisation sensorielle des fromages à froid et des fromages à chaud**

**Annexe 2 : Questionnaire de dégustation**

**Annexe 3 : Questionnaire sur le comportement, les attentes et les usages des fromages par les consommateurs et leurs attirances alimentaires**









**Annexe 4 : Communications par poster**



# Annexe 1 : Lexiques utilisés pour la caractérisation sensorielle des fromages à froid et des fromages à chaud

## Fromages à froid

### ASPECT ET TEXTURE VISUELLE

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Couleur de la pâte	Intensité de la couleur écru/ivoire de la pâte	Couleur blanche		Couleur jaune
				
Humidité de la pâte	Présence d'eau sur la tranche	Pas humide		Très humide : Ricotta
Quantité persillage	Présence de moisissures à la surface du fromage	Borne 1 – peu de persillage	Borne 5	Borne 10
				
Répartition du persillage	Répartition homogène du persillage sur le fromage	Borne 3 – répartition peu homogène	Borne 6 – répartition moyennement homogène	Borne 10 – très bonne répartition
				

### TEXTURE AU DOIGT

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Ferme	Force nécessaire pour déformer le produit	Pas ferme	Fromage de montagne	Très ferme : Cantal

## ODEUR

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Intensité Globale	Intensité de l'odeur qui se dégage du produit	Tome fraîche Ricotta	Boursault®	Bleu des causses
Odeur Ammoniaque	Odeur souvent caractéristique du brie ou du Camembert (piquant)	Pas intense	Boursault®	Camembert Lanquetot®
Odeur lactique	Odeur souvent caractéristique de produits laitiers (lait).	Fromage de Montagne	Féta St. Nectaire Laitier	Fromage de vache
Odeur de moisi	Odeur caractéristique de moisi type moisissures de fromage	Pas intense	Bleu des causses	Gruyère moisi

## SAVEUR

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Salée	Molécule de référence : NaCl dans l'eau	<b>Borne 2 :</b> 1g/l NaCl	<b>Borne 5 :</b> 2.5g/l NaCl	<b>Borne 8 :</b> 3g/l NaCl
Acide	Molécule de référence : acide lactique dans l'eau	<b>Borne 3 :</b> 0.84g/l a. lactique	/	<b>Borne 7 :</b> 1.23g/l a. lactique
Amère	Molécule de référence : leucine dans l'eau	<b>Borne 2 :</b> 1.8 g/l leucine	<b>Borne 6 :</b> 3 g/l leucine	<b>Borne 8 :</b> 5 g/l leucine
Piquant	Perception irritante qui est perçue sur les muqueuses	<b>Borne 2 :</b> 2g moutarde dans 100g fromage blanc	<b>Borne 5 :</b> 5g moutarde dans 100g fromage blanc	<b>Borne 7 :</b> 7g moutarde dans 100g fromage blanc

## ARÔME

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Intensité de l'arôme globale	Intensité de l'arôme dégagé par le produit	Pas intense	/	Bleu des causses
Arôme Ammoniaque	Ar. Souvent caractéristique du brie ou du camembert	Pas intense	/	Camembert Lanquetot®
Arôme de moisi	Odeur caractéristique de moisi type moisissures de fromage	Pas intense	Bleu des causses	Gruyère moisi
Persistance	Arôme qui persiste en bouche après avoir avalé le produit (durée)	Pas persistant	/	Bleu des causses

## TEXTURE EN BOUCHE

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Ferme	Force nécessaire pour déformer le fromage	Pas ferme	Fromage de Montagne	Cantal Parmesan
Onctueuse	Texture onctueuse, perception de gras en bouche	Pas onctueuse	Bleu de Causses	Boursault ®

Crayeuse	Texture sèche avec la présence de petites particules en bouche	Pas crayeuse	Buche de chèvre 1 <sup>re</sup> prix	Fromage de vache
Caoutchouteuse	Propriété liée à l'élasticité, traduit l'aptitude à reprendre sa forme après déformation. Perception de résistance lors de la mastication		/	
Collante	Qui adhère au palais lors de la mastication	Pas collante	/	Gaperon Vache Qui Rit

## Fromages à chaud

### ASPECT ET TEXTURE VISUELLE

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Persillage	Présence de moisissures à la surface du fromage	0% surface	50% surface	100% surface
Filant	Formation de fil lorsque l'on étire le fromage  Prendre avec la cuillère, au milieu de la capsule, un morceau de fromage et l'étirer vers le haut pour regarder s'il y a formation de fils.	Fromage de Chèvre – Pas de fils formés	Emmental  Reblochon – Formations de quelques fils – s'étirent peu et cassent assez rapidement	Cantal – Formation de beaucoup de fils qui s'étirent sans se casser
Capacité à fondre	Produit qui devient liquide sous l'action de la chaleur	Ne fond pas du tout – Bloc de fromage non fondu	L'ensemble du fromage est fondu mais il reste des amas de fromage (petit cube encore visible)	Le fromage est complètement fondu- pas d'amas visible – aspect lisse
Exsudation d'huile	Libération de gras sous forme liquide à la surface	Mozzarella  Pas de liquide jaune à la surface	Emmental- présence d'un léger liquide jaune- N'est présent que sur une partie du fromage	Comté – présence d'un liquide jaune en surface qui recouvre tout le fromage

### ODEUR

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Intensité Globale	Intensité de l'odeur qui se dégage du produit	Pas intense		Bleu des causses Camembert
Odeur Ammoniaque	Odeur souvent caractéristique du brie ou du Camembert	Pas intense		Camembert
Odeur lactique	Odeur souvent caractéristique de produits laitiers (lait).	Mozzarella	Raclette	Reblochon Cancoillotte

## SAVEUR

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Salée	Molécule de référence : NaCl dans l'eau	<b>Borne 2 :</b> 1g/l NaCl	<b>Borne 5 :</b> 2.5g/l NaCl	<b>Borne 8 :</b> 3g/l NaCl
Acide	Molécule de référence : acide lactique dans l'eau	<b>Borne 3 :</b> 0.84g/l a. lactique		<b>Borne 7 :</b> 1.23g/l a. lactique
Amère	Molécule de référence : leucine dans l'eau	<b>Borne 2 :</b> 1.8 g/l leucine	<b>Borne 6 :</b> 3 g/l leucine	<b>Borne 8 :</b> 5 g/l leucine
Piquant	Perception irritante qui est perçue sur les muqueuses	<b>Borne 2 :</b> 2g moutarde dans 100g fromage blanc	<b>Borne 5 :</b> 5g moutarde dans 100g fromage blanc	<b>Borne 7 :</b> 7g moutarde dans 100g fromage blanc

## ARÔME

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Intensité de l'arôme globale	Intensité de l'arôme dégagé par le produit	Mozzarella	Reblochon Emmental	Roquefort
Arôme Ammoniaque	Ar. Souvent caractéristique du brie ou du camembert	Pas intense	Gorgonzola	Camembert
Arôme de moisi	Odeur caractéristique de moisi type moisissures de fromage	Pas intense	Bleu des Causses	Gruyère moisi
Persistance	Arôme qui persiste en bouche après avoir avalé le produit (durée)	Pas persistant	Raclette	Roquefort

## TEXTURE EN BOUCHE

Descripteur	Définition	Borne inférieure	Borne moyenne	Borne supérieure
Onctueuse	Propriété liée à la viscosité : qui allie texture grasse, viscosité et douceur	Fromage de Chèvre	Bresse Bleu	Cancoillotte
Crayeuse	Texture sèche avec la présence de petites particules en bouche	/	Gorgonzola	Roquefort
Caoutchouteuse	Propriété liée à l'élasticité, traduit l'aptitude à reprendre sa forme après déformation. Perception de résistance lors de la mastication	Fromage de Chèvre	Cantal	Mozzarella Emmental
Collante	Qui adhère au palais lors de la mastication	/	Bresse Bleu	Cancoillotte
Huileuse	Perception d'huile lors de la mastication, film résiduel sur le palet	Raclette	Cantal	Comté

## Annexe 2 : Questionnaire de dégustation

Imaginez que vous utilisez du fromage à pâte persillée pour préparer un plat à chauffer au four.

Après avoir réalisé votre recette avec ce fromage, vous sortez le plat du four.

**Q1 : Après avoir regardé le fromage fondu (sans le sentir), répondez à la question !**

*Veillez indiquer votre appréciation sur l'échelle de « 0= je n'aime pas du tout » à « 10 = j'aime beaucoup » ?*

Je n'aime pas du tout

J'aime beaucoup

**Q2 : Après avoir dégusté ce fromage fondu, comment l'appréciez-vous ?**

*Veillez indiquer votre appréciation sur l'échelle de « 0= je n'aime pas du tout » à « 10 = j'aime beaucoup » ?*

Je n'aime pas du tout

J'aime beaucoup

**Q3 : Comment avez-vous perçu l'intensité de la saveur salée de ce fromage ?**

Pas du tout intense

Très intense

**Q4 : Comment avez-vous perçu l'intensité de la saveur amère de ce fromage ?**

Pas du tout intense

Très intense

**Q5 : Comment avez-vous perçu l'intensité du piquant de ce fromage ?**

Pas du tout intense

Très intense



---

Citez 3 qualités au maximum du fromage que vous venez de déguster

.....

.....

.....

Citez 3 défauts au maximum du fromage que vous venez de déguster

.....

.....

.....

## **Annexe 3 : Questionnaire sur les attentes, les habitudes de consommation et les attirances alimentaires**

## Questionnaire

\*Obligatoire



1. **Votre Nom et prénom:\***

Plusieurs questions vont vous être posées. Ce questionnaire porte sur vos goûts en termes d'alimentation. Ce questionnaire n'a aucun but commercial mais s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche auquel vous avez bien voulu participer.

Nous vous demandons de bien lire les questions, de rester attentif et de répondre à l'ensemble des questions.

Si toutefois, vous rencontrez un problème lors de la lecture de ce questionnaire, n'hésitez pas à appeler les animatrices de la séance.

Au cours de ce questionnaire, des questions vont faire référence aux termes suivants :

- Fromage à froid : le fromage est dégusté à température ambiante
- Fromage à chaud : le fromage est cuisiné à chaud donc dégusté chaud (fondu)

<https://docs.google.com/forms/d/1Mq9MNJZHQNc33Q1ChfIo1z40W-Mlu02XxPEfj...> 19/01/2015

2.

**A quelle fréquence, consommez-vous les fromages suivants :\***

Cochez une réponse par ligne

Une seule réponse possible par ligne.

	1 à 2 fois/jour	1 à 6 fois/semaine	1 à 3 fois/mois	Moins d'une fois / mois	Jamais
Gruyère rapé	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Camembert	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fromage de chèvre (en général - tous types confondus)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cantal (tous types)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
St Nectaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fourme d'Ambert	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bleu d'Auvergne	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Roquefort	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fromage fondu (type Vache qui Rit)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Raclette	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mozzarella	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3.

**A quelle fréquence consommez-vous du fromage à chaud:\***

Une seule réponse possible par ligne.

	1 à 2 fois / jour	1 à 6 fois / semaine	1 à 3 fois / mois	Moins d'une fois / mois	Jamais
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4.

**Achetez-vous le même fromage pour votre dégustation "en fin repas" et pour la préparation de vos recettes avec du fromage chauffé: \***

Une seule réponse possible.

- ☐ Oui, j'achète le même fromage pour les deux  
☐ Oui, mais pas pour tous les fromages  
☐ Non, j'achète spécialement du fromage pour préparer mes recettes avec du fromage chauffé

### Quels types de fromages utilisez-vous pour vos préparations à froid et à chaud ?

Citez au maximum 4 fromages par ordre de priorité d'utilisation en fonction du type de plats que vous utilisez généralement.

Si vous n'utilisez aucun fromage, mettez un slash " / "



5.

**Cuisine à Chaud: GRATINS \***

Citez vos fromages utilisés par ordre de priorité (maximum 4). Séparez chaque réponse par une virgule " , " "

---

---

---

---

---



6.

**Cuisine à Chaud: PIZZA ou QUICHE \***

Citez vos fromages utilisés par ordre de priorité (maximum 4). Séparez chaque réponse par une virgule " , " "

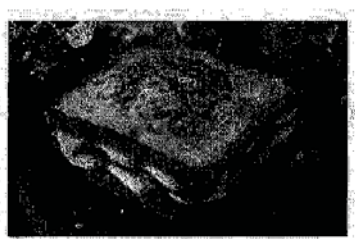
---

---

---

---

---



7.

**Cuisine à Chaud: CROQUE MONSIEUR \***

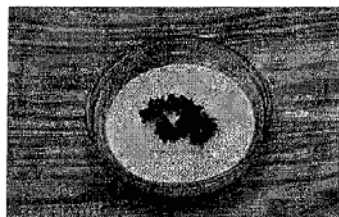
Citez vos fromages utilisés par ordre de priorité (maximum 4). Séparez chaque réponse par une virgule " , "

.....

.....

.....

.....



8.

**Cuisine à Chaud: SAUCE \***

Citez vos fromages utilisés par ordre de priorité (maximum 4). Séparez chaque réponse par une virgule " , "

.....

.....

.....

.....



9.

**Cuisine à Froid: A l'apéritif \***

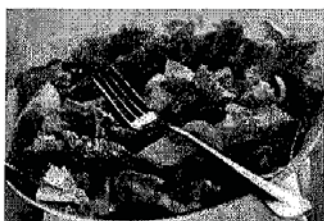
Citez vos fromages utilisés par ordre de priorité (maximum 4). Séparez chaque réponse par une virgule " , "

.....

.....

.....

.....



10.

**Cuisine à Froid: En salade \***

Citez vos fromages utilisés par ordre de priorité (maximum 4). Séparez chaque réponse par une virgule " , "

.....

.....

.....

.....



11.

**Cuisine à Froid: En sandwich \***

Citez vos fromages utilisés par ordre de priorité (maximum 4). Séparez chaque réponse par une virgule " , "

.....

.....

.....

.....

**Pour vous, quelles sont les caractéristiques sensorielles les plus importantes pour un fromage utilisé à chaud:**

Classer par ordre d'importance, les 5 critères sensoriels suivants de "1 = le plus important" à "5= le moins important"

Attention: Ne pas choisir deux fois le même critère!

12.

1. \*

*Une seule réponse possible.*

- ☐ L'aspect
- ☐ L'odeur
- ☐ Le goût
- ☐ La texture au doigt
- ☐ La texture en bouche

13.

2. \*

*Une seule réponse possible.*

- ☐ L'aspect
- ☐ L'odeur
- ☐ Le goût
- ☐ La texture au doigt
- ☐ La texture en bouche

14.

3. \*

*Une seule réponse possible.*

- ☐ L'aspect
- ☐ L'odeur
- ☐ Le goût
- ☐ La texture au doigt
- ☐ La texture en bouche

15.

4. \*

*Une seule réponse possible.*

- ☐ L'aspect
- ☐ L'odeur
- ☐ Le goût
- ☐ La texture au doigt
- ☐ La texture en bouche



16.

5.\*

*Une seule réponse possible.*

- ☐ L'aspect  
☐ L'odeur  
☐ Le goût  
☐ La texture au doigt  
☐ La texture en bouche

17.

**Si vous réalisez des préparations froides (salades, sandwich...) avec de la fourme d'Ambert, quelles caractéristiques recherchez-vous ?\***

Plusieurs affirmations vous sont proposées. Pour chacune des affirmations, donnez votre réponse sur l'échelle allant de « pas du tout d'accord » à « tout à fait d'accord » - Mettre une croix pour chaque affirmation.

*Une seule réponse possible par ligne.*

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Neutre	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
Elle doit avoir beaucoup de bleu (persillage)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elle doit avoir une texture crémeuse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elle doit avoir un goût intense	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elle doit avoir un goût salé	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elle doit avoir un goût amer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18.

**Si vous réalisez des préparations chaudes (gratins, pizzas, sauce...) avec de la fourme d'Ambert, quelles caractéristiques recherchez-vous ?\***

Plusieurs affirmations vous sont proposées. Pour chacune des affirmations, donnez votre réponse sur l'échelle allant de « pas du tout d'accord » à « tout à fait d'accord » - Mettre une croix pour chaque affirmation

*Une seule réponse possible par ligne.*

	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Plutôt pas d'accord	Neutre	Plutôt d'accord	D'accord	Tout à fait d'accord
Elle doit avoir beaucoup de bleu (persillage)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elle doit être nappante (recouvre le produit)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elle doit être filante (forme des fils)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elle doit avoir une texture crémeuse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elle doit avoir un goût amer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elle doit avoir un goût intense	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elle doit avoir un goût salé	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elle doit avoir un même goût qu'à froid	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Cette partie du questionnaire va mesurer votre préférence vis-à-vis de différents aliments.**

Pour chaque aliment, indiquez comment vous l'aimez sur une échelle allant de « 1 = je n'aime pas du tout » à « 9 = j'aime beaucoup ». Si vous n'avez jamais goûté cet aliment, cochez la case « je n'en ai jamais goûté ».

19.

\*

*Une seule réponse possible par ligne.*

	1 = Je n'aime pas du tout	2	3	4	5	6	7	8	9 = J'aime beaucoup	Je n'en ai jamais gouté
Saucisson	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chips	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chorizo Doux	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Jambon Sec	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gâteaux apéritifs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bière	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Café (boisson)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chocolat noir (70% de cacao)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Groseille	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Salade frisée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fromage à pâte persillée (type bleu)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Yaourt blanc	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Endive cuite	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Endive crue	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pamplemousse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Citron	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gingembre frais	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Concombre cru	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Radis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cornichon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Piment	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Choucroute	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Pour chaque aliment cité, indiquez votre perception pour les différentes saveurs sur une échelle de « pas du tout intense » à « très intense ». Si vous ne consommez pas cet aliment, cochez la case « Je n'en consomme pas ».**

Cochez une case par ligne

20.

**Comment percevez-vous l'amertume \****Une seule réponse possible par ligne.*

	1= Pas du tout intense	2	3	4	5	6	7	8	9=Très intense	Je n'en consomme pas
Pamplemousse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Concombre cru	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Café (boisson)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chocolat noir (70% de cacao)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Endive crue	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Endive cuite	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bière	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Salade frisée	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

21.

**Comment percevez-vous le salé \****Une seule réponse possible par ligne.*

	1=Pas du tout intense	2	3	4	5	6	7	8	9=Très intense	Je n'en consomme pas
Saucisson	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gâteaux apéritifs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chips	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Jambon Sec	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fromage de type bleu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22.

**Comment percevez-vous l'acidité \****Une seule réponse possible par ligne.*

	1=Pas du tout intense	2	3	4	5	6	7	8	9=Très intense	Je n'en consomme pas
Citron	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Groseille	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yaourt blanc	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Choucroute	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cornichon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

23.

**Comment percevez-vous le piquant \****Une seule réponse possible par ligne.*

	1=Pas du tout intense	2	3	4	5	6	7	8	9=Très intense	Je n'en consomme pas
Chorizo doux	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gingembre frais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Radis	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Piment	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

24.

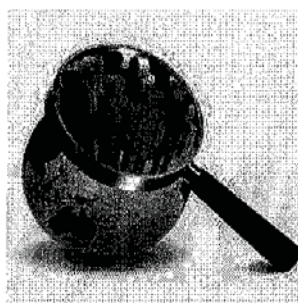
**A quelle fréquence consommez-vous ces aliments ? \***

Cochez une case par ligne. Pour les produits saisonniers (légumes et fruits), indiquez votre consommation à cette période.

*Une seule réponse possible par ligne.*

	1 à 2 fois / jour	1 à 6 fois / semaine	1 à 3 fois / mois	Moins d'une fois / mois	Je n'en consomme pas ou Jamais
Saucisson	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chips	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chorizo Doux	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Jambon Sec	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gâteaux apéritifs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bière	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Café (boisson)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chocolat noir (70% de cacao)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Groseille	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Salade frisée	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fromage à pâte persillée (type bleu)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Yaourt blanc	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Endive cuite	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Endive crue	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pamplemousse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Citron	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gingembre frais	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Concombre cru	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Radis	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cornichon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Piment	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Choucroute	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Questionnaire socio-démographique**



25.

**Quel est votre sexe: \****Une seule réponse possible.*☐ Homme☐ Femme

26.

**Quel est votre année de naissance: \***

---

27.

**Quel est votre statut marital: \****Une seule réponse possible.*☐ Célibataire☐ Marié☐ Divorcé☐ Pacsé / Concubin☐ Veuf

28.

**Quelle est votre profession: \***

---

29.

**Quel est votre niveau d'éducation: \****Une seule réponse possible.*☐ Diplôme national du brevet / Certificat de Formation Générale☐ BEP / CAP☐ Bac / Bac Pro☐ Niveau Bac+2 (BTS, DUT, DEUG,...)☐ Niveau Bac+3 (Licence, Licence professionnelle,...)☐ Niveau Bac+4 (Maîtrise, Master 1,...)☐ Niveau Bac+5 (DEA, DESS, DEST, Diplôme d'ingénieur, Master 2,...)☐ Niveau Bac+8 (Doctorat,...)

30.

**Quel est le revenu mensuel net du foyer: \****Une seule réponse possible.*

- ☐ <= 1100€
- ☐ 1101€ à 1700€
- ☐ 1701€ à 2200€
- ☐ 2201€ à 3400€
- ☐ >= 3401€

31.

**Etes-vous un(e) fumeur(se): \****Une seule réponse possible.*

- ☐ Oui
- ☐ Non

32.

**Excluez-vous volontairement certains aliments de votre alimentation ?\****Une seule réponse possible.*

- ☐ Oui *Passez à la question 33.*
- ☐ Non *Arrêtez de remplir ce formulaire.*

33.

**Si "OUI", pourquoi: \****Plusieurs réponses possibles.*

- ☐ Végétarien
- ☐ Pour des raisons de santé (diabétique, allergique au gluten, ...)
- ☐ Par conviction religieuse
- ☐ Par conviction personnelle
- ☐ Par goût
- ☐ Autre : .....

34.

**Citez les principaux aliments que vous excluez de votre alimentation:\****Séparer entre aliments cités avec un virgule " , "*

.....

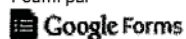
.....

.....

.....

.....

Fourni par





## Annexe 3 : Communications par posters

### PERCEPTION OF BITTER TASTE AND FLAVOR UNDER THE INFLUENCE OF COOKING CONDITIONS : A CASE STUDY ON PDO FRENCH BLUE CHEESES

C. Bord, D. Guerinon, A. Lebecque

Clermont Université, VetAgro Sup, UR CALITYSS BP 10488, F-63000 CLERMONT-FERRAND



VetAgro Sup

#### Introduction

Over the last years, cheeses have been used as a food ingredient on pizzas, sandwiches or in ready-cooked meals. So, cheeses can be consumed at different temperatures depending on the context. When cheeses are heated, several functional properties are required and expected like stretchability, browning or meltability. Moreover, after the heating, the cheeses also develop a wide range of flavors. The aim of this study is to investigate the sensory profile of the different categories of blue cheeses and more particularly their taste profiles under different cooking conditions.

#### Materials and methods

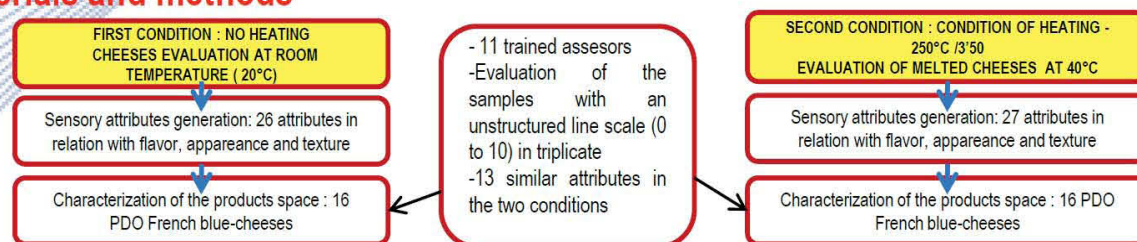


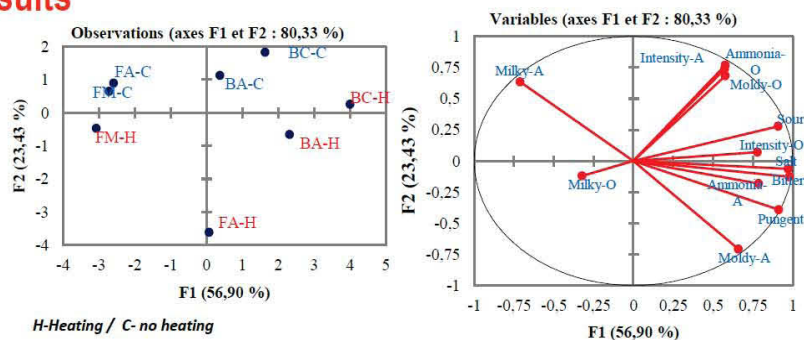
Figure 1 : Procedure

Table 1: Evaluated cheeses

Cheeses	Fourme de Montbrison (FM)	Fourme d'Ambert (FA)	Bleu d'Auvergne (BA)	Bleu des Causses (BC)
Quantity of samples	4	4	4	4

Sixteen cheeses were evaluated divided into four categories (Table 1). The whole cheeses were purchased from a supermarket of the region. Several cheeses were selected in order to represent the wide range of the sensory characteristics. The cheeses were evaluated with the same ripening time.

#### Results



H-Heating / C- no heating

Figure 2 : PCA performed on the categories of cheeses representing the flavor attributes

Globally, the four categories of cheeses presented different flavor profiles. On average, BC and BA (heated) were the most intense in sour, bitter and salt tastes. In opposite, flavor profiles of FM and FA were the least intense, except for the FA-H. FM cheeses were described by a milky aroma (Figure 2). Moreover, there was a relevant difference between the both cooking conditions.

Figure 3 represented the taste profiles for each category in the two conditions (heating/no-heating). Throughout, the taste intensity increased when cheeses were heated excepted for the FM cheeses. No significant differences existed between the two conditions for these cheeses (FM;  $p > 0.05$ ). On the other hand, heated BC presented a bitterness score very superior to BC which weren't heated (6,5/4,5).

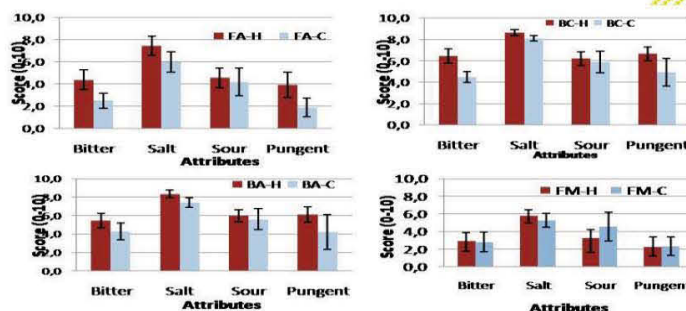


Figure 3 : Taste profiles for each category (H-heating / C-no heating)

#### Conclusion

This study allowed to describe the flavor profiles on the PDO French Blue cheeses. Indeed, the 4 categories of cheeses presented various flavor profiles. Globally, the BC and BA were more intense in bitter, salt tastes and aroma than FM and FA. Moreover, there was a significant different compartment between the heated cheeses and the no-heated ones and more particularly on the taste profiles. On average, the saltiness and the bitterness were the more developed for the FA, BC and BA categories after the heating. In order to complete these results, other analyses must be performed on the water-soluble extract of cheeses to better know the impact of the heating on the taste.







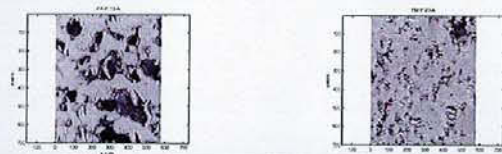
## Prediction of sensory parameters of Blue cheeses from multispectral imagery

Cécile Bord<sup>1</sup>, Sylvain Jacquot<sup>1</sup>, Delphine Guérinon<sup>1</sup>, Annick Lebecque<sup>1</sup>, Abderrahmane Aït-Kaddour<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>VetAgro Sup, UR2011.03.100 CALITYSS, BP 35, F-63370 Lempdes, France; abderrahmane.aitkaddour@vetagro-sup.fr

### INTRODUCTION

Texture and flavor are important criteria used to evaluate cheeses quality. Generally, sensory analysis methods are widely used to assess food quality and to predict consumer preference. Instrumental methods such as chromatography and rheology can be used to characterize these parameters. Today, it is admitted that spectroscopic methods (e.g. IR and fluorescence) can be also used for this purpose. Nonetheless, those methods are adapted to characterize isotropic and less to characterize anisotropic cheeses (e.g. *Roquefort*). Nowadays, multispectral and hyperspectral imageries are becoming more and more important in research activities and for on-line monitoring of food processing due to their ability: (i) to perform fast and non-invasive low-cost analysis on products and process, (ii) to have access both to spectral and spatial information.



### OBJECTIVE

This study was aimed at investigating the potential of texture parameters extracted from multispectral images to predict selected texture and flavor properties of blue cheeses measured by sensory analysis (*Fourme d'Ambert*: FA; *Fourme de Montbrison*: FM; *Bleu d'Auvergne*: BA; *Bleu des Causses*: BC).

### RESULTS

#### Sensory analysis results

The figure 1 presented the sensory profile of blue cheeses on taste and texture attributes. The ANOVA revealed significant differences between the four types of cheeses for taste and texture ( $p < 0.05$ ).

BA and BC : high intensities for the salty, sour and bitter tastes.

BA and BC : soft texture to the touch, creamy and not grainy in the mouth.

FA and FM : firm to the touch and in the mouth, not creamy, not very sticky, and are grainy.

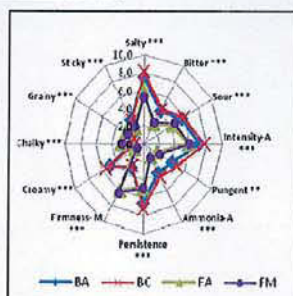


Figure 1. Taste and texture profile of four blue cheeses (Scores out of 10); \*\*\* highly significant attribute ( $p < 0.001$ )

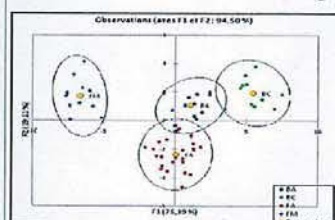
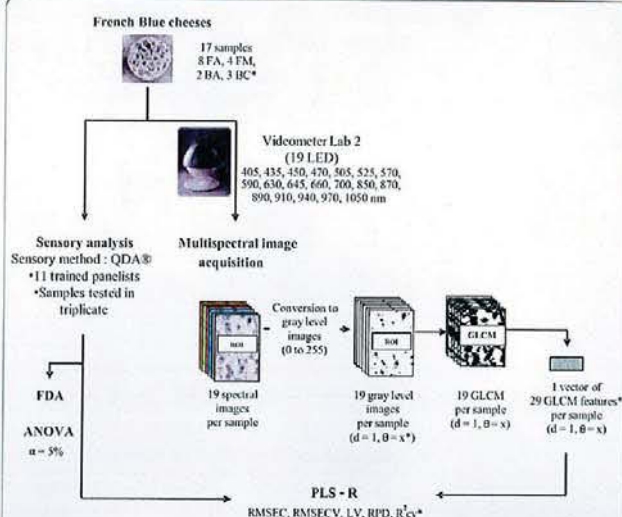


Figure 2. Factorial Discriminant Analysis biplot of sensory data for each category of blue cheeses

FDA (Figure 2) permits to classify and group the different categories studied. BC and BA are closely similar and distinguishable from the FM/FA. FM stands out from the three others.

### MATERIALS AND METHODES



\*ROI: Region of interest; GLCM: Gray level co-occurrence matrix; 0: angle used for the calculation of the GLCM (0°, 45°, 90°, 135°); RMSEC: Root mean square error of calibration; RMSECV: Root mean square error of cross-validation; LV: Loading vector; RPD: Ratio of standard deviation to root-mean-square error of cross-validation; FDA: Factorial discriminant analysis; ANOVA: Analysis of variance; PLS-R: Partial least square regression

#### PLS-R results

Table 1. Best predictive models (RPD  $\geq 1.4$ ) of the sensory texture and flavor obtained after leave-one-out cross-validation (\*the best excitation LED)

	Dough Color	Blueveins quantity	Number of Cavity	Salty	Bitter	Aroma intensity	Ammoniac aroma	Persistence	Mouth firmness	Creamy	Chalky
LED (nm)	470	525	630	700	660	630	700	940	645	700	645
LV	8	10	9	4	8	8	8	10	9	8	8
RMSECV	0.85	0.70	1.00	0.28	0.55	0.50	0.58	0.65	0.14	1.46	0.94
R2CV	0.66	0.48	0.73	0.39	0.34	0.54	0.48	0.50	0.44	0.51	0.44
RPD	1.7	1.4	1.9	4.0	1.5	1.5	1.4	1.4	11.4	1.4	1.4

The table 1 show the best predictive models obtained after PLS-R analysis.

If we consider the  $R^2_{cv}$  and the RPD values, the number of cavity, firmness in the mouth, and the salty parameters presented good accuracy for prediction (RPD  $\geq 1.9$ ). Those models were obtained with the 630, 645 and 700 nm excitation LEDs respectively.

The PLS-R models for the other parameters (persistent, creamy, and chalky) presented limited predictive power ( $1.7 \geq RPD \geq 1.4$ ).

Our predictive results suggested that the image texture features of cheeses are related to some of the parameters evaluated by sensory analysis (texture and flavor).

### CONCLUSION

This study demonstrated the potential of multispectral imagery to predict some sensory parameters of anisotropic cheese matrix. It is reasonable to expect that as an analytical technique, multispectral imagery will offer a rapid and relatively inexpensive method for monitoring cheese quality.







VetAgro Sup

# Consumers' preferences and taste perception toward raw and heated cheeses

BORD C<sup>1</sup>, GUERINON D<sup>1</sup>, LEBECQUE, A<sup>1</sup>.

Clermont Université, VetAgro Sup N° UPSP 2011-03-100, UR CALITYSS, BP 10448, F-63000 CLERMONT-FERRAND FRANCE

## INTRODUCTION

In France, 89% of French consumers eat cheese at least one time a week (CNIEL, 2012). Even if the cheese consumption, is generally made at the end of meal, cheeses are increasingly used in culinary preparations, both hot ones (pizza, gratin, sauce....) and cold ones (sandwich and salad), and thus have become "cheese ingredients" (Lucey 2008). However, heating process implies sensory modifications, in particular to taste and texture properties.

## OBJECTIVES

This study aimed (1) to measure the preference and gustatory perception of consumers toward cheeses at different stage of temperature, (2) to investigate the relative contribution of texture and taste on overall liking.

## METHOD

Cheeses	Type	Temperature conditions	Ripening
FA Pasteurized milk	Raw	20°C	35 days (1) = AR1 56 days(2) = AR2 77 days (3)=AR3
	Heated	200°C	5 days (1) = AH1 56 days(2) = AH2 77 days (3)=AH3
FB Pasteurized milk	Raw	20°C	35 days (1) = BR1 56 days(2) = BR2 77 days (3)=BR3
	Heated	200°C	5 days (1) = BH1 56 days(2) = BH2 77 days (3)=BH3

Table 1 : Description of cheeses

### Sensory Descriptive Analysis

- 10 trained panelists
- 21 sensory attributes were evaluated on a 10 cm unstructured line scales

### Hedonic Test

- 153 consumers rated their acceptance and taste intensity on a 10 cm linear scale



### Data Analysis

- Sensory and hedonic data were analyzed individually and then together.
- A anova was performed on sensory data and hedonic scores (appearance and overall liking). Tukey's multiple-comparison test is used at 5%.
- Consumers segmentation was conducted on overall liking for each product using a AHC using Ward's method and Euclidian distances matrices.
- External preference mapping was performed using consumers segmentations results and sensory data.

## RESULTS

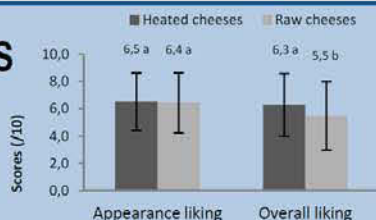


Fig.1 Appearance and overall liking mean for each temperature condition  
Means indicated with the same letter are not significantly different (Tukey's test,  $\alpha=5\%$ )

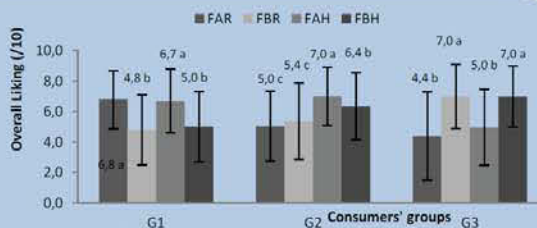


Fig. 2 Overall liking mean for each cheese according to each consumers' group  
Means indicated with the same letter are not significantly different (Tukey's test,  $\alpha=5\%$ )

Appearance liking didn't show significant differences while, a slight difference appeared on overall liking. « Heated » cheeses were preferred to « raw » cheeses (Fig. 1).

Consumer segmentation allowed to identify 3 groups (Fig 2) :

**GROUP 1 (n= 40):** preference for cheeses FA whatever temperature condition. Gustatory attributes (sour, pungent, persistent, intensity aroma) were identified as drivers of liking.

**GROUP 2 (n= 74) :** preference for « heated » cheeses. The key sensory attributes for these cheeses are : melting, stretchability, smoothy, oiling-off.

**GROUP 3 (n=39) :** they like cheeses FB whatever temperature condition.

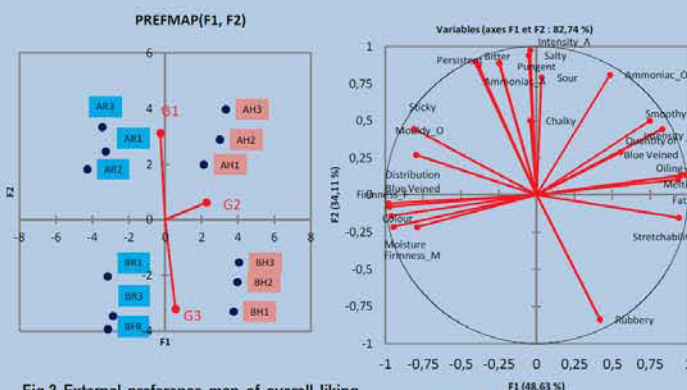


Fig.3 External preference map of overall liking (vectorial model). Each consumers' group from HAC are represented by a vector

Fig.4 PCA of the matrix of mean sensory profile showing the attributes

## CONCLUSION

These study allowed to identify the drivers keys toward heated cheeses and raw cheeses. Cheeses consumers are segmented in three group according to overall liking. Depending on the group and the cheeses temperature, texture, taste and aroma are more or less important. Indeed, for the consumers who preferred « heated » cheeses, texture attributes are drivers of liking. On the contrary, taste and aroma are the main attributes which contribute to explain «raw» cheeses liking and consumers' acceptance.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---



- Abbas K (2012) Effet de traitements thermiques sur les propriétés fonctionnelles de fromages traditionnels : le cas des pâtes persillées. Thèse de doctorat. VetAgro Sup, Clermont-Ferrand. 1–68.
- Adda J (1982) The chemistry of flavour and texture generation in cheese. *Food Chem* 9:115–129.
- Adda J, Dumont JP (1974) Les substances responsables de l'arôme des fromages à pâte molle. *Lait* 54:1–21.
- Adler E, Hoon M a, Mueller KL, et al. (2000) A novel family of mammalian taste receptors. *Cell* 100:693–702.
- AFNOR (2009) Analyse sensorielle - Vocabulaire. NF ISO 5492.
- AFNOR (2002) Analyse sensorielle - Méthodologie - Lignes directrices générales pour la mesure des seuils de détection d'odeur, de flaveur et de goût par une technique à choix forcé de 1 parmi 3 (3-AFC). NF ISO 13301. Saint Denis La Plaine, France, AFNOR.
- AFNOR (1995) Analyse sensorielle - Recherche et sélection de descripteurs pour l'élaboration d'un profil sensoriel, par approche multidimensionnelle. NF ISO 11035. Saint Denis La Plaine, France, AFNOR.
- AFNOR (2012a) Analyse sensorielle - Méthodologie - Directives générales pour la réalisation d'épreuves hédoniques effectuées avec des consommateurs dans un espace contrôlé. NF V09-500.
- AFNOR (2012b) Analyse sensorielle - Méthodologie - Méthode d'éveil à la sensibilité gustative. NF ISO 3972. Saint Denis La Plaine, France, AFNOR.
- AFNOR (2010) Analyse sensorielle - Méthodologie - Directives générales pour l'établissement d'un profil sensoriel. NF EN ISO 13299. Saint Denis La Plaine, France, AFNOR. Paris, AFNOR
- Albert a., Salvador a., Schlich P, Fiszman S (2012) Comparison between temporal dominance of sensations (TDS) and key-attribute sensory profiling for evaluating solid food with contrasting textural layers: Fish sticks. *Food Qual Prefer* 24:111–118. doi: 10.1016/j.foodqual.2011.10.003
- Allen Foegeding E (2003) Sensory and mechanical aspects of cheese texture. *Int Dairy J* 13:585–591. doi: 10.1016/S0958-6946(03)00094-3
- Altan A, Turhan M, Gunasekaran S (2005) Short Communication: Comparison of covered and uncovered Scheiber Test for Cheese Meltability Evaluation. *Am Dairy Sci Assoc* 88:857–861.
- Amblard C, Bord C, Guérinon D, et al. (2012) Rapport final IMAOP. [Document de travail]. 1–56.
- Andersen LT, Ardö Y, Bredie WLP (2010) Study of taste-active compounds in the water-soluble extract of mature Cheddar cheese. *Int Dairy J* 20:528–536. doi: 10.1016/j.idairyj.2010.02.009
- Andreeva VA, Martin C, Issanchou S, et al. (2013) Sociodemographic profiles regarding bitter food consumption . Cross-sectional evidence from a general French population q. *Appetite* 67:53–60. doi: 10.1016/j.appet.2013.03.013
- Ares G, Giménez A, Barreiro C, Gámbaro A (2010) Use of an open-ended question to identify drivers of liking of milk desserts. Comparison with preference mapping techniques. *Food Qual Prefer* 21:286–294. doi: 10.1016/j.foodqual.2009.05.006
- Arnott DR, Morris HA, Combs WB (1957) Effect of Certain Chemical Factors on the Melting Quality of Process Cheese. *J Dairy Sci* 40:957–963.



- Aston JW, Creamer L. (1986) Contribution of the water-soluble fraction to the flavour of Cheddar cheese. 229-248. *New Zeal J Dairy Sci Technol* 21:229–248.
- Auvray M, Spence C (2008) The multisensory perception of flavor. *Conscious Cogn* 17:1016–31. doi: 10.1016/j.concog.2007.06.005
- Bajec MR, Pickering GJ (2008) Thermal taste, PROP responsiveness, and perception of oral sensations. *Physiol Behav* 95:581–90. doi: 10.1016/j.physbeh.2008.08.009
- Bajec MR, Pickering GJ, DeCourville N (2012) Influence of Stimulus Temperature on Orosensory Perception and Variation with Taste Phenotype. *Chemosens Percept* 5:243–265.
- Bakke A, Vickers Z (2011) Effects of bitterness, roughness, PROP taster status, and fungiform papillae density on bread acceptance. *Food Qual Prefer* 22:317–325. doi: 10.1016/j.foodqual.2010.11.006
- Banville V, Morin P, Pouliot Y, Britten M (2014) Shreddability of pizza Mozzarella cheese predicted using physicochemical properties. *J Dairy Sci* 1–14. doi: 10.3168/jds.2014-8040
- Barcenas P, Pérez de San Roman R, Pérez-Elortondo FJ, Albisu M (2001) Consumer preference structures for traditional Spanish cheeses and their relationship with sensory properties. *Food Qual Prefer* 12:269–279.
- Le Bars D, Gripon J. (1981) Role of *Penicillium roqueforti* proteinases during blue cheese ripening. *J Dairy Res* 48:479–487.
- Barthel C, Sanderg E, Haglund H (1928) Une nouvelle méthode pour l'étude du procédé de la maturation des fromages. *Lait* 8:285–288.
- Bartoshuk LM, Rennert K, Rodin J, Stevens JC (1982) Effects of temperature on the perceived sweetness of sucrose. *Physiol Behav* 28:905–910.
- Beauchamp GK, Bertino M, Engelman K (1983) Modification of Salt Taste. *Ann Intern Med* 98:763–769.
- Bech-Larsen T, Scholderer J (2007) Functional foods in Europe: consumer research, market experiences and regulatory aspects. *Trends Food Sci Technol* 18:231–234.
- Behrens M, Brockhoff A, Kuhn C, et al. (2004) The human taste receptor hTAS2R14 responds to a variety of different bitter compounds. *Biochem Biophys Res Commun* 319:479–85. doi: 10.1016/j.bbrc.2004.05.019
- Berdague L, Grappin R, Duboz G (1988) Affinage et qualité du gruyère de Comté VI . Caractéristiques sensorielles des fromages. *Lait* 68:189–204.
- Beriain MJ, Gorraiz C, Horcada A, Purroy A (2000) Sensory quality of fresh lamb meat. Ledin I (ed), Morand-Fehr P (ed) *Sheep goat Nutr Intake, Dig Qual Prod rangelands Zaragoza CIHEAM, (Cahiers Options Méditerranéennes; n 52* 128:125–128.
- Bertino M, Beauchamp G., Engelman K (1986) Increasing dietary salt alters salt taste preference. *Physiol Behav* 38:203–213.
- Bertino M, Beauchamp GK, Engelman K (1982) Long-term reduction in dietary sodium alters the taste of salt. *Am J Clin Nutr* 36:1134–1144.

- Beuvier E, Berthaud K, Cegarra S, et al. (1997) Ripening and quality of Swiss-type cheese made from raw, pasteurized or microfiltered milk. *Int Dairy J* 7:311–323. doi: 10.1016/S0958-6946(97)00015-0
- Biede SL, Hammond EG (1979) Swiss Cheese Flavor: I. Chemical Analysis. *J Dairy Sci* 62:227–237.
- Birch LL (1980) The relationship between children's food preferences and those of their parents. *J Nutr Educ* 12:14–18. doi: 10.1016/S0022-3182(80)80249-4
- Bitnes J, Martens H, Ueland O, Martens M (2007) Longitudinal study of taste identification of sensory panellists: Effect of Ageing, Experience and Exposure. *Food Qual Prefer* 18:230–241. doi: 10.1016/j.foodqual.2005.11.003
- Blumenthal A, Weymuth H, Hansen W (1976) Flow and drip points of Raclette cheese. *SchweizMilchw* 102:391–395.
- Boisard L (2012) Relations entre mobilité du sodium , libération du sel et des composés d ' arôme en bouche et perception de la flaveur : Application à des modèles fromagers. Thèse de Doctorat. 1–329.
- Bonnans S, Noble AC (1993) Effects of sweetener type and of sweetener and acid levels on temporal perception of sweetness, sourness and fruitiness. *Chem Senses* 18:273–280.
- Borchgrevink CP, Susskind AM, Tarras JM (1999) Consumer preferred hot beverage temperatures. *Food Qual Prefer* 10:117–121. doi: 10.1016/S0950-3293(98)00053-6
- Boutrou R, Gaucheron F, Piot M, et al. (1999) Changes in the composition of juice expressed from Camembert cheese during ripening. *Lait* 79:503–513. doi: 10.1051/lait:1999541
- Breene W., Price W., Ernstrom C. (1964) Manufacture of Pizza Cheese without Starter. *J Dairy Sci* 47:1173–1180.
- Breslin PA., Spector AC (2008) Mammalian taste perception. *Curr Biol* 18:R148–R155–R148–R155.
- Breslin PAS (1996) Components of Flavour Interactions among salty , sour and bitter compounds. *Trends Food Sci Technol* 7:390–399.
- Breslin PAS, Beauchamp G. (1995) Suppression of bitterness by sodium: Variation among bitter taste stimuli. *Chem Senses* 20:609–623.
- Brosvic GM, McLaughlin WW (1989) Quality specific differences in human taste detection thresholds as a function of stimulus volume. *Physiol Behav* 45:15–20. doi: 10.1016/0031-9384(89)90160-1
- Brown F, Diller KR (2008) Calculating the optimum temperature for serving hot beverages. *Burns* 34:648–54. doi: 10.1016/j.burns.2007.09.012
- Brug J, Nannah IT, Saskia J te V, et al. (2008) Taste preferences, liking and other factors related to fruit and vegetable intakes among schoolchildren: results from observational studies. *Br J Nutr* 99 Suppl 1:S7–S14. doi: 10.1017/S0007114508892458
- Callac A, Postic C, Guidat E, et al. (2012) Creation of a link between sensory description and evocation with the help of Pivot Profile. *Eurosense, 5th Eur. Conf. Sens. Consum. Res.*

- Callon C, Berdagué JL, Dufour E, Montel MC (2005) The effect of raw milk microbial flora on the sensory characteristics of Salers-type cheeses. *J Dairy Sci* 88:3840–50. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)73069-1
- Calvino AM, Garcia-medina MR, Cometto-muniz JE, Rodriguez MB (1993) Perception of sweetness and bitterness in different vehicles. *Percept Psychophys* 54:751–758.
- Cardello A V., Maller O (1982) Acceptability of Water, Selected Beverages and Foods as a Function of Serving Temperature. *J Food Sci* 47:1549–1552. doi: 10.1111/j.1365-2621.1982.tb04980.x
- Carlucci A, Napolitano F, Girolami A, Monteleone E (1999) Methodological approach to evaluate the effects of age at slaughter and storage temperature and time on sensory profile of lamb meat. *Meat Sci* 52:391–395.
- Caspia EL, Coggins PC, Schilling MW, Yoon Y (2005a) AND DESCRIPTIVE SENSORY ATTRIBUTES IN CHEDDAR CHEESE \*. 21:112–127.
- Caspia EL, Coggins PC, Schilling MW, Yoon Y (2005b) The relationship between consumer acceptability and descriptive sensory attributes in cheddar cheese. *J Sens Stud* 21:112–127.
- Cayot N (2007) Sensory quality of traditional foods. *Food Chem* 101:154–162.
- Cerning J, Gripon JC, Lamberet G, Lenoir J (1987) Les activités biochimiques des *Penicillium* utilisés en fromagerie. *Lait* 67:3–39. doi: 10.1051/lait:198711
- Chamba J (1988) Salage de l'Emmental. I. Influence des conditions de saumurage sur l'absorption du sel et sa cinétique. *Lait* 68:121–142.
- Chambers DH, Allison AMA, Chambers E (2004) Training effects on performance of descriptive panelists. *J Sens Stud* 19:486–499.
- Chambers DH, Esteve E, Retiveau A (2010) Effect of Milk Pasteurization on Flavor Properties of Seven Commercially Available French Cheese Types. *J Sens Stud* 25:494–511. doi: 10.1111/j.1745-459X.2010.00282.x
- Chandrashekar J, Hoon M a, Ryba NJP, Zuker CS (2006) The receptors and cells for mammalian taste. *Nature* 444:288–94. doi: 10.1038/nature05401
- Chandrashekar J, Mueller KL, Hoon M a, et al. (2000) T2Rs function as bitter taste receptors. *Cell* 100:703–11.
- Chang W-I, Chung J-W, Kim Y-K, et al. (2006) The relationship between phenylthiocarbamide (PTC) and 6-n-propylthiouracil (PROP) taster status and taste thresholds for sucrose and quinine. *Arch Oral Biol* 51:427–432.
- Chaudhari N, Roper SD (2010) The cell biology of taste. *J Cell Biol* 190:285–96. doi: 10.1083/jcb.201003144
- Childs JL, Drake M (2009) Consumer Perception of Fat Reduction in Cheese. *J Sens Stud* 24:902–921. doi: 10.1111/j.1745-459X.2009.00243.x
- Childs JL, Yates MD, Drake MA (2009) Sensory properties and consumer perception of wet and dry cheese sauces. *J Food Sci* 74:S205–18. doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01187.x

- Christensen C (1980) Effects of solution viscosity on perceived saltiness and sweetness . *Percept Psychophys* 28:347–353.
- Clark C, Lawless H (1994) Limiting response alternatives in time-intensity scaling: an examination of the halo-dumping effect. *Chem Senses* 19:583–594.
- Cliff M, Heymann H (1993) Development and Use of Time-Intensity Methodology for Sensory Evaluation : a Review. *Food Res Int* 26:375–385.
- CNAOL (2013) Chiffres clés 2013 des produits sous signes de la qualité et de l'origine. Produits laitiers AOP. 2013:1–8.
- CNIEL (2012) Le fromage. Zoom Comportement des consommateurs. [ rapport interne]. Paris.
- Collins YF, McSweeney PLH, Wilkinson MG (2004) Lipolysis and catabolism of fatty acids in cheese. In: Patrick F. Fox PLHM (ed) *Cheese Chem. Phys. Microbiol.* Academic Press, pp 373–389
- Collins YF, McSweeney PLH, Wilkinson MG (2003) Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: a review of current knowledge. *Int Dairy J* 13:841–866.
- Colonna A, Durham C, Meunier-Goddik L (2011) Factors affecting consumers' preferences for and purchasing decisions regarding pasteurized and raw milk specialty cheeses. *J Dairy Sci* 94:5217–26. doi: 10.3168/jds.2011-4456
- Cox DN, Hendrie GA, Carty D (2015) Sensitivity, hedonics and preferences for basic tastes and fat amongst adults and children of differing weight status: A comprehensive review. *Food Qual Prefer* 41:112–120. doi: 10.1016/j.foodqual.2014.11.014
- Cruz A, Green BG (2000) Thermal stimulation of taste. *Nature* 403:889–892.
- Deglaire A, Méjean C, Castetbon K, et al. (2012) Development of a questionnaire to assay recalled liking for salt, sweet and fat. *Food Qual Prefer* 23:110–124. doi: 10.1016/j.foodqual.2011.08.006
- Delwiche J (2004) The impact of perceptual interactions on perceived flavor. *Food Qual Prefer* 15:137–146. doi: 10.1016/S0950-3293(03)00041-7
- Demarigny Y, Beuvier E, Buchin S, et al. (1997) Influence of raw milk microflora on the characteristics of Swiss-type cheeses : II. Biochemical and sensory characteristics. *Lait* 77:151–167. doi: 10.1051/lait:1997110
- Devoyod JJ, Bret G, Auclair JE (1968) The microbial flora of Roquefort cheese. I. Its evolution during cheese making and ripening. *Lait* 48:613–629.
- Diezhandino I, Fernández D, González L, et al. (2015) Microbiological, physico-chemical and proteolytic changes in a Spanish blue cheese during ripening (Valdeón cheese). *Food Chem* 168:134–41. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.07.039
- Dinehart ME, Hayes JE, Bartoshuk LM, et al. (2006) Bitter taste markers explain variability in vegetable sweetness, bitterness, and intake. *Physiol Behav* 87:304–13. doi: 10.1016/j.physbeh.2005.10.018
- Dinnella C, Masi C, Naes T, Monteleone E (2013) A new approach in TDS data analysis: A case study on sweetened coffee. *Food Qual Prefer* 30:33–46. doi: 10.1016/j.foodqual.2013.04.006

- Dinnella C, Masi C, Zoboli G, Monteleone E (2012) Sensory functionality of extra-virgin olive oil in vegetable foods assessed by Temporal Dominance of Sensations and Descriptive Analysis. *Food Qual Prefer* 26:141–150. doi: 10.1016/j.foodqual.2012.04.013
- Drake M. (2007) Invited review: Sensory analysis of dairy foods. *J Dairy Sci* 90:4925–37. doi: 10.3168/jds.2007-0332
- Drake M., Gerard P. (1999) Relationship between instrumental and sensory measurements of cheese texture. 30:451–476.
- Drake M., McInvalle S., Gerard P., et al. (2001) Development of a descriptive language for Cheddar cheese. *J Food Sci* 66:1422–1427.
- Drake M., Yates M., Gerard P. (2005) Impact of serving temperature on trained panel perception of cheddar cheese flavor attributes. *J Sens Stud* 20:147–155. doi: 10.1111/j.1745-459X.2005.00013.x
- Drake SL, Lopetcharat K, Drake MA (2011) Salty taste in dairy foods: can we reduce the salt? *J Dairy Sci* 94:636–45. doi: 10.3168/jds.2010-3509
- Drake SL, Lopetcharat K, Drake MA (2009) Comparison of two methods to explore consumer preferences for cottage cheese. *J Dairy Sci* 92:5883–97. doi: 10.3168/jds.2009-2389
- Drewnowski A, Gomez-Carneros C (2000) Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *Am J Clin Nutr* 72:1424–1435.
- Drewnowski A, Henderson SA, Shore AB (1997) Genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil (PROP) and hedonic responses to bitter and sweet tastes. *Chem Senses* 22:27–37.
- Duchamp-Viret P, Rospars JP (2010) Codage de l'information par les neurones olfactifs. *Odorat goût La Neurol. des sens Chim. aux Appl., Quae. Paris*, pp 93–108
- Duffy VB, Bartoshuk LM (2000) Food acceptance and genetic variation in taste. *J Am Diet Assoc* 100:647–655.
- Eberhard P, Moor U, Ruegg M (1988) Composition and physical properties of Raclette cheese of good and of insufficient melting quality. Raclette cheese from pasteurized milk. *Schweiz Milchwirt Forsch* 17:47–52.
- Engel E, Nicklaus S, Gareme A, et al. (2000a) Taste active compounds in a goat cheese water-soluble extract. 1. Development and sensory validation of a model water-soluble extract. *J Agric Food Chem* 48:4252–9.
- Engel E, Nicklaus S, Salles C, LeQuéré J. (2002) Relevance of omission tests to determine flavour-active compounds in food : application to cheese taste. *Food Qual Prefer* 13:505–513.
- Engel E, Nicklaus S, Septier C, et al. (2000b) Taste active compounds in a goat cheese water-soluble extract. 2. Determination of the relative impact of water-soluble extract components on its taste using omission tests. *J Agric Food Chem* 48:4260–7.
- Engel E, Nicklaus S, Septier C, et al. (2001a) Evolution of the taste of a bitter Camembert cheese during ripening: characterization of a matrix effect. *J Agric Food Chem* 49:2930–9.

- Engel E, Septier C, Leconte N, et al. (2001b) Determination of taste-active compounds of a bitter Camembert cheese by omission tests. *J Dairy Res* 68:675–88.
- Engel E, Tournier C, Salles C, Le Quéré J. (2001c) Evolution of the composition of a selected bitter Camembert cheese during ripening: release and migration of taste-active compounds. *J Agric Food Chem* 49:2940–2947.
- Engelen L, De Wijk R., Prinz J, et al. (2002) The effect of oral temperature on the temperature perception of liquids and semisolids in the mouth. *Eur J Oral Sci* 110:412–6.
- Engelen L, De Wijk R., Prinz J., et al. (2003) The effect of oral and product temperature on the perception of flavor and texture attributes of semi-solids. *Appetite* 41:273–281. doi: 10.1016/S0195-6663(03)00105-3
- Ercan D, Korel F, Yüceer YK, Kınık O (2011) Physicochemical, textural, volatile, and sensory profiles of traditional Sepet cheese. *J Dairy Sci* 94:4300–12. doi: 10.3168/jds.2010-3941
- Everett DW, Auty MAE (2008) Cheese structure and current methods of analysis. *Int Dairy J* 18:759–773.
- Farahat S., Rabie A., Farag A. (1990) Evaluation of the proteolytic and lipolytic activity of different *Penicillium roqueforti* strains. *Food Chem* 36:169–180. doi: 10.1016/0308-8146(90)90052-6
- Faurion A (1988) Naissance et obsolescence du concept de quatre qualités en gustation. *J d'agriculture Tradit Bot appliquée* 35:21–40.
- Faurion A (2004) Physiologie de la gustation. *Physiol. sensorielle à l'usage des IAA, Tec&Doc*. Lavoisier, Paris, pp 129–182
- Faurion A, Montmayeur J (2012) Sémantique du goût, erreur épistémologique et culture. *Odorat goût, Quae*. Paris, pp 227–264
- Feeney EL, O'Brien S., Scannell AGM, et al. (2014) Genetic and environmental influences on liking and reported intakes of vegetables in Irish children. *Food Qual Prefer* 32:253–263. doi: 10.1016/j.foodqual.2013.09.009
- Feeney EP, Fox PF, Guinee TP (2001) Effect of ripening temperature on the quality of low moisture Mozzarella cheese: 1. Composition and proteolysis. *Lait* 81:463–474.
- Fernandez A, Kosikowski F V (1986) Low moisture Mozzarella Cheese from whole milk retentates of ultrafiltration. *J Dairy Sci* 69:2011–2017.
- Fife R., McMahon D., Oberg CJ (1996) Functionality of low fat Mozzarella Cheese. *J Dairy Sci* 79:1903–1910.
- Fife RL, McMahon DJ, Oberg CJ (2002) Test for measuring the stretchability of melted cheese. *J Dairy Sci* 85:3539–3545.
- Floury J, Rouaud O (2009) Reducing salt level in food : Part 2 . Modelling salt diffusion in model cheese systems with regards to their composition. *Food Sci Technol* 42:1621–1628. doi: 10.1016/j.lwt.2009.06.002
- Foster KD, Grigor J V, Cheong JN, et al. (2011) The role of oral processing in dynamic sensory perception. *J Food Sci* 76:R49–61. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.02029.x



- Fox PF, O'Connor TP, Mcsweeney PLH, et al. (1996) Cheese: Physical, Biochemical, and Nutritional Aspects. *Adv Food Nutr Res* 39:163–328.
- Frank RL, Mickelsen O (1969) Sodium-potassium chloride mixtures as table salt. *Am J Clin Nutr* 464:464–470.
- Gaborit P, Menard A, Morgan F (2001) Impact of ripening strains on the typical flavour of goat cheeses. *Int Dairy J* 11:315–325. doi: 10.1016/S0958-6946(01)00061-9
- Gacula M, Rutenbeck S, Pollack L, et al. (2007) The Just-About-Right intensity scale : functional analyses and relation hedonics. *J Sens Stud* 22:194–211.
- Gallois A, Langlois D (1990) New results in the volatile odorous compounds of French cheeses. *Lait* 70:89–106.
- Gelabert J, Gou P, Guerrero L, Arnau J (2003) Effect of sodium chloride replacement on some characteristics of fermented sausages. *Meat Sci* 65:833–9. doi: 10.1016/S0309-1740(02)00288-7
- Giraud G, Sirieix L (2000) Mesurer Déclarations et Comportements d ' Achat grâce au Panel Scannerisé Le Cas d ' une Marque de Distributeur de Saucisson Sec en France. *Conférence Int. des Tend. du Mark. Venezia*, pp 1–22
- Gkatzionis K, Linfoth RS., Dodd CE. (2009) Volatile profile of Stilton cheeses: Differences between zones within a cheese and dairies. *Food Chem* 113:506–512.
- Gobbetti M, Burzigotti R, Smacchi E, et al. (1998) Microbiology and Biochemistry of Gorgonzola Cheese During Ripening. *Int Dairy J* 7:519–529.
- González de Llano D, Ramos M, Rodriguez A, et al. (1992) Microbiological and physicochemical characteristics of Gamonedo blue cheese during ripening. *Int Dairy J* 2:121–135.
- Grappin R, Beuvier E (1997) Possible implications of milk pasteurization on the manufacture and sensory quality of ripened cheese. *Int Dairy J* 7:751–761. doi: 10.1016/S0958-6946(98)00006-5
- Green BG, Frankmann SP (1987) The effect of cooling the tongue on the perceived intensity of taste. *Chem. Senses* 12:
- Green BG, Lim J, Osterhoff F, et al. (2010) Taste mixture interactions: suppression, additivity, and the predominance of sweetness. *Physiol Behav* 101:731–7. doi: 10.1016/j.physbeh.2010.08.013
- Gripon JC, Bergere JL (1972) Le système protéolytique de *Penicillium roqueforti*. I. Conditions de production et nature du système protéolytique. *Lait* 518:497–514.
- Gueguen L (2000) Le fromage dans l'alimentation. *Le Fromag.* 3ème Ed., Lavoisier. Tech et Doc, Paris, France, pp 725–735
- Guiadeur M (2012) Conditions de production et composition nutritionnelle des fromages AOP Cantal, Fourme d'Ambert et Bleu d'Auvergne. Comité scientifique du GIS Fromages d'AOP du Massif central. Présentation. 1–38.
- Guichard E (2002) Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception. *Food Rev Int* 18:49–70.

- Guichard E (2006) Flavour retention and release from protein solutions. *Biotechnol Adv* 24:226–9. doi: 10.1016/j.biotechadv.2005.11.003
- Guichard H (1995) Contribution au développement de méthodes instrumentales pour l'étude des fractions volatile et azotée soluble dans l'eau de fromages à pâte pressée cuite. Relation avec l'analyse sensorielle. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure de Biologie Appl. Université de Bourgogne
- Guinard JX, Uotani B, Schlich P (2001) Internal and external mapping of preferences for commercial lager beers: comparison of hedonic ratings by consumers blind versus with knowledge of brand and price. *Food Qual Prefer* 12:243–255. doi: 10.1016/S0950-3293(01)00011-8
- Guinard JX, Zoumas-Morse C, Dietz J, et al. (1996) Does consumption of beer, alcohol, and bitter substances affect bitterness perception? *Physiol Behav* 59:625–31.
- Guinee T (2002) The functionality of cheese as an ingredient: a review. *Aust J dairy Technol* 57:79–91.
- Guinee T, Auty M, Mullins C, et al. (2000a) Preliminary observations on effects of fat content and degree of fat emulsification on the structure-functional relationship of cheddar-type cheese. *J Texture Stud* 31:645–663.
- Guinee TP (2004) Salting and the role of salt in cheese. *Int J Dairy Technol* 57:99–109. doi: 10.1111/j.1471-0307.2004.00145.x
- Guinee TP, Harrington D, Corcoran MO, et al. (2000b) The compositional and functional properties of commercial mozzarella, cheddar and analogue pizza cheeses. *Int J Dairy Technol* 53:51–56. doi: 10.1111/j.1471-0307.2000.tb02658.x
- Guinee TP, O'Callaghan DJ (1997) The use of a simple empirical method for objective quantification of the stretchability of cheese on cooked pizza pies. *J Food Eng* 31:147–161. doi: 10.1016/S0260-8774(96)00081-7
- Hartwig P, McDaniel MR (1995) Flavor Characteristics of Lactic, Malic, Citric, and Acetic Acids at Various pH Levels. *J Food Sci* 60:384–388. doi: 10.1111/j.1365-2621.1995.tb05678.x
- Harvey CD, Morris HA, Jenness R (1982) Relation between Melting and Textural Properties of Process Cheddar Cheese. *J Dairy Sci* 65:2291–2295.
- Hassan A, Johnson ME, Lucey JA (2004) Changes in the Proportions of Soluble and Insoluble Calcium During the Ripening of Cheddar Cheese. *J Dairy Sci* 87:854–862.
- Hassan FAM, El-Gawad MAM, Enab AK (2013) Flavour Compounds in Cheese ( Review ). *Res Precis Instrum Mach Vol* 2:15–29.
- Hasselbalch AL, Heitmann BL, Kyvik KO, Sørensen TIA (2008) Studies of Twins indicate that genetics influence dietary intake. *J Nutr* 138:2406–2412. doi: 10.3945/jn.108.087668.
- Hayes JE, Sullivan BS, Duffy VB (2010) Explaining variability in sodium intake through oral sensory phenotype, salt sensation and liking. *Physiol Behav* 100:369–80. doi: 10.1016/j.physbeh.2010.03.017
- Hein KA, Jaeger SR, Carr BT, Delahunty CM (2008) Comparison of five common acceptance and preference methods. *Food Qual Prefer* 19:651–661. doi: 10.1016/j.foodqual.2008.06.001



- Hicsasmaz Z, Shippelt L, Rizvi SSH (2004) Evaluation of Mozzarella Cheese Stretchability by the Ring-and-Ball Method. *J Dairy Sci* 87:1993–1998.
- Hutchings SC, Foster KD, Grigor JMV, et al. (2014) Temporal dominance of sensations: A comparison between younger and older subjects for the perception of food texture. *Food Qual Prefer* 31:106–115. doi: 10.1016/j.foodqual.2013.08.007
- Hyde RJ, Feller RP (1981) Age and sex effects on taste of sucrose, NaCl, citric acid and caffeine. *Neurobiol Aging* 2:315–318.
- Ishibashi N (1988) Role of the hydrophobic amino acid residue in the bitterness of Peptides. *Agric Biol Chem* 52:91–94.
- ISO (2004) Determination of the total solids content. (Reference method). ISO 5534. Geneva, Switzerland. International Standard Organization. 15 p.
- ISO (2014) Milk and milk products - Determination of nitrogen content - Part 1: Kjeldahl principle and crude protein calculation. 30 p.
- ISO (2007a) Determination of chloride content. ISO 5943. Geneva, Switzerland. International Standard Organization. 15 p.
- ISO (2007b) Determination of calcium, sodium, potassium and magnesium contents. ISO 8070. Geneva, Switzerland. International Standard Organization. 22 p.
- ISO (2003) Sensory analysis - Methodology - General guidance for establishing a sensory profile : 13299. Geneva, Switzerland: International Standard Organization.
- ISO (2007c) Sensory analysis — General guidance for the design of test rooms. Geneva, Switzerland: International Standard Organization. 24 p.
- Issanchou S (2006) L'analyse sensorielle du fromage. *Le Fromag*. 3ème Ed., Tec&Doc. L. Paris, pp 802–828
- Jacquot S, Karoui R, Abbas K, et al. (2014) Potential of multispectral Imager to characterize anisotropic French PDO cheeses: A feasibility study. *Int J Food Prop* 18:213–230. doi: 10.1080/10942912.2013.828746
- Johnson ME (2003) Low-fat cheese. In: Roginski H, Fuquay JW, Fox PF (eds) *Encycl. dairy Sci.*, Elsevier S. UK, pp 438–444
- Johnson ME, Olson NF (1985) Nonenzymatic browning of Mozzarella cheese. *J Dairy Sci* 68:3143–3147.
- Jolly RC, Kosikowski FV (1975) Flavor development in Pasteurized milk Blue cheese by animal and microbial lipase preparations. *J Dairy Sci* 58:846–852. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(75)84648-0
- Kahkonen P, Tuorila H, Hyvonen L. (1995) Dairy fat content and serving temperature as determinants of sensory. *Food Qual Prefer* 6:127–133.
- Kaminski LC, Henderson SA, Drewnowski A (2000) Young women's food preferences and taste responsiveness to 6-n-propylthiouracil (PROP). *Physiol Behav* 68:691–697.
- Kantar WordPanel (2013) Les fromages d'Auvergne - Prométhée. [Document de travail]. 1–159.

- Kapoor R, Metzger LE (2004) Evaluation of salt whey as an ingredient in processed cheese. *J Dairy Sci* 87:1143–50. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73262-2
- Kapoor R, Metzger LE (2008) Process Cheese : Scientific and Technological Aspects — A Review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 7:194–214.
- Kato H, Rhue M., Nishimura T (1989) Role of free amino acids and peptides in food taste. *Flavor Chem.* pp 158–175
- Keast RS., Canty T., Breslin PA. (2004) The influence of sodium salts on binary mixtures of bitter-tasting compounds. *Chem Senses* 29:431–9. doi: 10.1093/chemse/bjh045
- Keast RSJ, Breslin PAS (2002) An overview of binary taste – taste interactions. *Food Qual Prefer* 14:111–124.
- Keast RSJ, Roper J (2007) A complex relationship among chemical concentration, detection threshold, and suprathreshold intensity of bitter compounds. *Chem Senses* 32:245–53. doi: 10.1093/chemse/bjl052
- Kebchaoui J (2012) Pasta filata : mozzarella et pizza cheese - Texturation des pâtes fromagères fromagères, Techniques. *Doss l'Ingénieur* 33:1–23.
- Keller KL, Steinmann L, Nurse RJ, Tepper BJ (2002) Genetic taste sensitivity to 6-n-propylthiouracil influences food preference and reported intake in preschool children. *Appetite* 38:3–12. doi: 10.1006/appe.2001.0441
- Khan M (1981) Evaluation of food selection patterns and preferences. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 15:129–153.
- Kim J-W, Samant SS, Seo Y, Seo H-S (2014) Variation in saltiness perception of soup with respect to soup serving temperature and consumer dietary habits. *Appetite* 84:73–78. doi: 10.1016/j.appet.2014.09.018
- Kindstedt PS, Rippe JK (1990) Rapid quantitative test for free oil (Oiling-Off) in melted Mozzarella cheese. *J Dairy Sci* 73:867–873.
- King SC, Weber AJ, Meiselman HL, Lv N (2004) The effect of meal situation, social interaction, physical environment and choice on food acceptability. *Food Qual Prefer* 15:645–653. doi: 10.1016/j.foodqual.2004.04.010
- Kinsella JE, Hwang D (1976) Biosynthesis of flavors by *Penicillium roqueforti*. *Biotechnol Bioeng* 18:927–938.
- Kirimura J, Shimizu A, Kimizuka A, et al. (1969) Contribution of peptides and amino acids to the taste of foods. *J Agric Food Chem* 17:689–695.
- Ten Kleij F, Musters PA. (2003) Text analysis of open-ended survey responses: a complementary method to preference mapping. *Food Qual Prefer* 14:43–52. doi: 10.1016/S0950-3293(02)00011-3
- Koppel K, Chambers DH (2012) Flavor comparison of natural cheeses manufactured in different countries. *J Food Sci* 77:S177–87. doi: 10.1111/j.1750-3841.2012.02674.x
- Köster EP (2009) Diversity in the determinants of food choice: A psychological perspective. *Food Qual Prefer* 20:70–82. doi: 10.1016/j.foodqual.2007.11.002

- Kremer S, Mojet J, Kroeze JHA (2007) Differences in perception of sweet and savoury waffles between elderly and young subjects. *Food Qual Prefer* 18:106–116. doi: 10.1016/j.foodqual.2005.08.007
- Kubicková J, Grosch W (1998) Evaluation of flavour compounds of Camembert cheese. *Int Dairy J* 8:11–16. doi: 10.1016/S0958-6946(98)00015-6
- Kuo MI, Wang YC, Gunasekaran S, Olson NF (2001) Effect of heat treatments on the meltability of cheeses. *J Dairy Sci* 84:1937–43. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74635-8
- Labbe D, Damevin L, Vaccher C, et al. (2006) Modulation of perceived taste by olfaction in familiar and unfamiliar beverages. *Food Qual Prefer* 17:582–589. doi: 10.1016/j.foodqual.2006.04.006
- Labbe D, Gilbert F, Martin N (2008) Impact of olfaction on taste, trigeminal, and texture perceptions. *Chemosens Percept* 1:217–226. doi: 10.1007/s12078-008-9029-x
- Labbe D, Schlich P, Pineau N, et al. (2009) Temporal dominance of sensations and sensory profiling: A comparative study. *Food Qual Prefer* 20:216–221. doi: 10.1016/j.foodqual.2008.10.001
- Lamberet G, Menassa A (1983) Détermination et niveau des activités lipolytiques dans les fromages à pâte persillée. *Lait* 63:629–630.
- Lanfer A, Bammann K, Knof K, et al. (2013) Predictors and correlates of taste preferences in European children: The IDEFICS study. *Food Qual Prefer* 27:128–136. doi: 10.1016/j.foodqual.2012.09.006
- Lange C (2001) Influence des caractéristiques sensorielles et extrinsèques des produits sur l'acceptabilité et le comportement d'achat. *Trait. d'évaluation sensorielle. Asp. Cogn. métrologiques des perceptions*, Dunod. Paris, pp 233–249
- Lanier SA, Hayes JE, Duffy VB (2005) Sweet and bitter tastes of alcoholic beverages mediate alcohol intake in off-age undergraduates. *Physiol Behav* 83:821–31. doi: 10.1016/j.physbeh.2004.10.004
- Larsen MD, Kristiansen KR, Hansen TK (1998) Characterization of the proteolytic activity of starter cultures of *Penicillium roqueforti* for production of blue veined cheeses. *Int J Food Microbiol* 43:215–221.
- Lauverjat C, Délérès I, Tréléa IC, et al. (2009) Salt and aroma compound release in model cheeses in relation to their mobility. *J Agric Food Chem* 57:9878–87. doi: 10.1021/jf901446w
- Lawless H (2003) The taste of calcium and magnesium salts and anionic modifications. *Food Qual Prefer* 14:319–325. doi: 10.1016/S0950-3293(02)00128-3
- Lawless H, Heymann H (2010) *Sensory evaluation of food: principles and practices*, Springer. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland
- Lawlor J Ben, Delahunty CM, Wilkinson MG, Sheehan J (2001) Relationships between the sensory characteristics, neutral volatile composition and gross composition of ten cheese varieties. *Lait* 81:487–507.
- Lawlor JB, Delahunty CM (2000) The sensory profile and consumer preference for ten speciality cheeses. *Int J Dairy Technol* 53:28–36. doi: 10.1111/j.1471-0307.2000.tb02652.x
- Lawlor JB, Delahunty CM, Sheehan J, Wilkinson MG (2003) Relationships between sensory attributes and the volatile compounds, non-volatile and gross compositional constituents of six blue-type cheeses. *Int Dairy J* 13:481–494.

- Lawrence G, Buchin S, Achilleos C, et al. (2012) In vivo sodium release and saltiness perception in solid lipoprotein matrices. 1. Effect of composition and texture. *J Agric Food Chem* 60:5287–98. doi: 10.1021/jf204434t
- Lawrence G, Salles C, Septier C, et al. (2009) Odour–taste interactions: A way to enhance saltiness in low-salt content solutions. *Food Qual Prefer* 20:241–248. doi: 10.1016/j.foodqual.2008.10.004
- Lawrence RC (1966) The Oxidation of Fatty Acids by Spores of *Penicillium roqueforti*. *J Gen Microbiol* 44:393–405.
- Lawrence RC, Heap HA, Gilles J (1984) A Controlled approach to cheese technology. *J Dairy Sci* 67:1632–1645.
- Ledikwe JH, Ello-Martin J, Pelkman CL, et al. (2007) A reliable, valid questionnaire indicates that preference for dietary fat declines when following a reduced-fat diet. *Appetite* 49:74–83. doi: 10.1016/j.appet.2006.12.001
- Lemieux L, Simard R (1991) Bitter flavour in dairy products. I. A review of the factors likely to influence its development, mainly in cheese manufacture. *Lait* 71:599–636. doi: 10.1051/lait:1991647
- Lemoine F, Renard A. (2012) Le fromage porté par les nouveaux usages. *La Rev Laitière Française* 1–3.
- Lenfant F, Loret C, Pineau N, et al. (2009) Perception of oral food breakdown. The concept of sensory trajectory. *Appetite* 52:659–67. doi: 10.1016/j.appet.2009.03.003
- MacLeod P, Sauvageot F, Koster EP (2009) Les caractéristiques d’une réponse sensorielle. Eval. sensorielle. Man. méthodologique. 3ème Ed., TEC&DOC. Lavoisier, Paris, pp 7–32
- Lesage L, Sauvageot F, Voilley A, Lorient D (1992) Effect of sodium chloride concentration and ripening time on the sensory characteristics of camembert cheese with addition of magnesium. *Lait* 72:13.
- Lesschaeve I, Issanchou S (1996) Could selection tests detect the future performance of descriptive panellists? *Food Qual Prefer* 7:177–183.
- Liem D., De Graaf C (2014) Sweet and sour preferences in young children and adults: Role of repeated exposure. *Physiol Behav* 83:421–429.
- Liem DG, Bogers RP, Dagnelie PC, de Graaf C (2006) Fruit consumption of boys (8–11 years) is related to preferences for sour taste. *Appetite* 46:93–6. doi: 10.1016/j.appet.2005.11.002
- Liggett RE, Drake M a, Delwiche JF (2008) Impact of flavor attributes on consumer liking of Swiss cheese. *J Dairy Sci* 91:466–76. doi: 10.3168/jds.2007-0527
- Lim J (2011) Hedonic scaling: A review of methods and theory. *Food Qual Prefer* 22:733–747. doi: 10.1016/j.foodqual.2011.05.008
- Lindemann B (2001) Receptors and transduction in taste. *Nature* 413:219–225.
- Logue a. W, Smith ME (1986) Predictors of food preferences in adult humans. *Appetite* 7:109–125. doi: 10.1016/S0195-6663(86)80012-5
- Lorient D, Closs B, Caurthaudan JL (1991) Connaissances nouvelles sur les propriétés fonctionnelles des protéines du lait et des dérivés. *Lait* 71:141–171.

- Lucas L, Riddell L, Liem G, et al. (2011) The influence of sodium on liking and consumption of salty food. *J Food Sci* 76:S72–6. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01939.x
- Lucey JA (2008) Some perspectives on the use of cheese as a food ingredient. *Dairy Sci Technol* 88:1–22.
- Lucey JA, Johnson ME, Horne DS (2003) Invited Review: perspectives on the basis of the rheology and texture properties of cheese. *J Dairy Sci* 86:2725–2743.
- Lynch J, Liu Y, Mela D, Macfie HJH (1993) A time-intensity study of the effect of oil mouth coatings on taste perception. *Chem Senses* 18:121–129.
- MacFie H., Bratchell N, Greenhoff K, Vallis L. (1989) Designs to balance the effect of order of presentation and first-order carry-over effects in hall tests. *J Sens Stud* 4:129–148.
- Madadlou A, Mousavi M, Khosrowshahasl A, et al. (2007) Effect of cream homogenization on textural characteristics of low-fat Iranian White cheese. *Int Dairy J* 17:547–554. doi: 10.1016/j.idairyj.2006.07.006
- Madkor S, Fox PF, Shalabi SI, Metwalli NH (1987) Studies on the ripening of Stilton cheese: Lipolysis. *Food Chem* 25:93–109. doi: 10.1016/0308-8146(87)90058-6
- Marks LE, Shepard TG, Burger K, Chakwin EM (2012) Flavor-intensity perception: effects of stimulus context. *Physiol Behav* 105:443–50. doi: 10.1016/j.physbeh.2011.08.039
- Martin C, Visalli M, Lange C, et al. (2014) Creation of a food taste database using an in-home “taste” profile method. *Food Qual Prefer* 36:70–80. doi: 10.1016/j.foodqual.2014.03.005
- Martin N (2002) Sweet/sour balance in champagne wine and dependence on taste/odour interactions. *Food Qual Prefer* 13:295–305. doi: 10.1016/S0950-3293(02)00042-3
- Martin N, Rogeaux M (1994) Etude par analyse textuelle de commentaires de consommateurs après dégustation de boisson. *Sci Aliments* 14:265–280.
- Mattes RD (2007) Effects of linoleic acid on sweet, sour, salty, and bitter taste thresholds and intensity ratings of adults. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 292:G1243–8. doi: 10.1152/ajpgi.00510.2006
- Matzdorf B, Cuppett SL, Keeler L, Hutkins R. (1994) Browning of Mozzarella Cheese during high temperature pizza baking. *J Dairy Sci* 77:2850–2853.
- McBurney DH, Collings VB, Glanz LM (1973) Temperature dependence of human taste responses. *Physiol Behav* 11:89–94.
- McSweeney P (2004) Biochemistry of cheese ripening. *Int J Dairy Technol* 57:127–144.
- McSweeney PL., Sousa M. (2000) Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review. *Lait* 80:293–324. doi: 10.1051/lait:2000127
- Mcsweeney PLH (1997) The flavour of milk and dairy products: III. Cheese: taste. *Int J Dairy Technol* 50:123–128. doi: 10.1111/j.1471-0307.1997.tb01752.x
- Meilgaard MC, Civille GV, Carr BT (2006a) Affective tests : Consumer tests and house panel acceptance tests. *Sens. Eval. Tech.* 4th Ed., NY: CRC Pr. New York, pp 255–313

- Meilgaard MC, Civille GV, Carr BT (2006b) Selection and Training of panel Members. *Sens. Eval. Tech.* 4th Ed., NY: CRC Pr. New York, pp 141–172
- Meilgaard MC, Civille GV, Carr TB (2006c) Determining Threshold. *Sens. Eval. Tech.* 4th Ed., NY: CRC Pr. New York, pp 129–139
- Meillon S, Urbano C, Guillot G, Schlich P (2010) Acceptability of partially dealcoholized wines – Measuring the impact of sensory and information cues on overall liking in real-life settings. *Food Qual Prefer* 21:763–773. doi: 10.1016/j.foodqual.2010.07.013
- Méjean C, Macouillard P, Castetbon K, et al. (2011) Socio-economic, demographic, lifestyle and health characteristics associated with consumption of fatty-sweetened and fatty-salted foods in middle-aged French adults. *Br J Nutr* 105:776–86. doi: 10.1017/S0007114510004174
- Méjean L, Hyardin A, Cuny A (2006) La fonctionnalité alimentaire : illusion aujourd’hui, réalité demain. *Lett Sci l’Institut Française Nutr* 1– 8.
- Mela J, Sacchetti A (1991) Sensory preferences for fats : relationships with diet and body composition. *Am J Clin Nutr* 53:908–915.
- Menassa A, Lamberet G (1982) Contribution à l’étude du système lipolytique de *Penicillium roqueforti*. Caractères comparés de deux activités exocellulaires. *Lait* 62:611–612.
- Menichelli E, Kraggerud H, Veflen N, Næs T (2013) Analysing relations between specific and total liking scores. *Food Qual Prefer* 28:429–440. doi: 10.1016/j.foodqual.2012.11.008
- Michon C, O’Sullivan MG, Sheehan E, et al. (2010) Study on the influence of age, gender and familiarity with the product on the acceptance of vegetable soups. *Food Qual Prefer* 21:478–488. doi: 10.1016/j.foodqual.2010.01.003
- Mistry V V, Kasperson KM (1998) Influence of salt on the quality of reduced fat Cheddar cheese. *J Dairy Sci* 81:1214–1221.
- Mitchell M, Brunton NP, Wilkinson MG (2013) The influence of salt taste threshold on acceptability and purchase intent of reformulated reduced sodium vegetable soups. *Food Qual Prefer* 28:356–360. doi: 10.1016/j.foodqual.2012.11.002
- Mitchell M, Brunton NP, Wilkinson MG (2011) Impact of salt reduction on the instrumental and sensory flavor profile of vegetable soup. *Food Res Int* 44:1036–1043. doi: 10.1016/j.foodres.2011.03.007
- Mitsuhashi T, Toda S, Hatae K (2008) Taste sensitivity and food preference of the elderly. *J Cook Sci* 41:241–247.
- Mojet J, Christhazelhof E, Heidema J (2005) Taste perception with age: pleasantness and its relationships with threshold sensitivity and supra-threshold intensity of five taste qualities. *Food Qual Prefer* 16:413–423. doi: 10.1016/j.foodqual.2004.08.001
- Mojet J, Christ-Hazelhof E, Heidema J (2001) Taste perception with age: generic or specific losses in threshold sensitivity to the five basic tastes? *Chem Senses* 26:845–860.
- Molimard P (1994) Etude de la coopération entre *Geotrichum candidum* et *Penicillium camemberti* : impact sur le profil aromatique et sur les qualités organoleptiques d’un fromage de type camembert. Thèse de Doctorat. Université de Bourgogne



- Molimard P, Lesschaeve I, Bouvier I, et al. (1994) Amertume et fractions azotées de fromages à pâte molle de type camembert : rôle de l'association de *Penicillium camemberti* avec *Geotrichum candidum*. *Lait* 74:361–374. doi: 10.1051/lait:1994530
- Molimard P, Spinnler HE (1996) Review: compounds involved in the flavor of surface mold-ripened cheeses: origins and properties. *J Dairy Sci* 79:169–184. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(96)76348-8
- Monneuse M, Bellisle F, Louis-sylvestre J (1991) Impact of sex and age on sensory evaluation of sugar and fat in dairy products. *Physiol Behav* 50:1111–1117.
- Montel M-C, Buchin S, Mallet A, et al. (2014) Traditional cheeses: Rich and diverse microbiota with associated benefits. *Int J Food Microbiol* 177:136–54. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.019
- Montmayeur JP, Matsunami H (2002) Receptors for bitter and sweet taste. *Curr Opin Neurobiol* 12:366–71.
- Mony P, Tokar T, Pang P, et al. (2013) Temperature of served water can modulate sensory perception and acceptance of food. *Food Qual Prefer* 28:449–455. doi: 10.1016/j.foodqual.2012.12.002
- Morris HA, Jezeski JJ (1953) The action of microorganisms on fats. II Some characteristics of the lipase system of *penicillium roqueforti*. *Methods* 1285–1298.
- Moskowitz H (2001) Interrelations among liking attributes for apple pie : research approaches and pragmatic viewpoints. *J Sens Stud* 16:373–391.
- Moskowitz HR (1973) Effects of solution temperature on taste Intensity in humans. *Physiol Behav* 10:289–292. doi: 10.1016/0031-9384(73)90312-0
- Moskowitz HW, Kumaraiah V, Sharma KN, et al. (1975) Cross-cultural differences in simple taste preferences. *Science*, 190, 1217–1218. *Science* (80- ) 190:1217–1218.
- Muir D., Hunter EA, Watson M (1995) Aroma of cheese.1. Sensory characterisation. *Milchwissenschaft* 50:499–505.
- Murphy C, Cardello A, Brand J (1981) Tastes of fifteen halide salts following water and NaCl: anion and cation effects. *Physiol Behav* 26:1083–1095.
- Murray JM, Delahunty CM, Baxter IA (2001) Descriptive sensory analysis: past, present and future. *Food Res Int* 34:461–471.
- Nair M (2000) Yield and functionality of Cheddar cheese as influenced by homogenization of cream. *Int Dairy J* 10:647–657. doi: 10.1016/S0958-6946(00)00090-X
- Nakamura M, Kurihara K (1991) Differential temperature dependence of taste nerve responses to various taste stimuli in dogs and rats. *Am J Physiol.* 261:
- Ney K (1971) Prediction of bitterness of peptides from their amino acid composition. *Eur Food Res Technol* 147:64–68.
- Neyraud E, Prinz J, Dransfield E (2003) NaCl and sugar release, salivation and taste during mastication of salted chewing gum. *Physiol Behav* 79:731–737.
- Nicklaus S, Boggio V, Issanchou S (2005) [Gustatory perceptions in children]. *Arch Pediatr* 12:579–84. doi: 10.1016/j.arcped.2005.01.027

- Nicod H, Clément J-F, Sauvageot F, Strigler F (2009) L'organisation pratique de la mesure sensorielle. Eval. sensorielle. Man. méthodologique. 3ème Ed., Tec&Doc. Paris, pp 49–98
- Niimi J, Eddy AI, Overington AR, et al. (2014) Cross-modal interaction between cheese taste and aroma. *Int Dairy J* 39:222–228. doi: 10.1016/j.idairyj.2014.07.002
- Niki T, Yoshioka Y, Yahiko K (1966) Proteolytic and lipolytic activities of *Penicillium roqueforti* isolated from blue cheese. XVII. XVIII Int. Dairy Congr. D. pp 531–37
- Pangborn RM, Chrisp RB, Bertoler LL (1970) Gustatory , salivary , and oral thermal responses to solutions of sodium chloride at four temperatures. *Percept Psychophys* 8:69–75.
- Panouillé M, Saint-Eve A, Loubens C De, et al. (2011) Understanding of the influence of composition, structure and texture on salty perception in model dairy products. *Food Hydrocoll* 25:716–723. doi: 10.1016/j.foodhyd.2010.08.021
- Pascal G, Mareschi J., Contor L, Antoine J. (2006) Généraux, Redécouverte des propriétés fonctionnelles de l'aliment : fondements scientifiques. *Cah Nutr Di* 41:39–45.
- Pastorino A., Hansen C., McMahon DJ (2003) Effect of salt on structure-function relationships of cheese. *J Dairy Sci.* 86:
- Paulsen MT, Næs T, Ueland Ø, et al. (2013) Preference mapping of salmon–sauce combinations: The influence of temporal properties. *Food Qual Prefer* 27:120–127. doi: 10.1016/j.foodqual.2012.09.010
- Paulsen MT, Ueland Ø, Nilsen AN, et al. (2012) Sensory perception of salmon and culinary sauces – An interdisciplinary approach. *Food Qual Prefer* 23:99–109. doi: 10.1016/j.foodqual.2011.09.004
- Paulson BM, McMahon DJ, Oberg CJ (1998) Influence of sodium chloride on appearance, functionality, and protein arrangements in nonfat Mozzarella cheese. *J Dairy Sci* 81:2053–2064. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(98)75780-7
- Pelosi P (2004) Molécules odorantes et événements périorécepteurs en olfaction. *Physiol. sensorielle à l'usage des IAA*, Tec&Doc. Lavoisier, Paris, pp 3–23
- Perrin L, Symoneaux R, Maître I, et al. (2008) Comparison of three sensory methods for use with the Napping® procedure: Case of ten wines from Loire valley. *Food Qual Prefer* 19:1–11. doi: 10.1016/j.foodqual.2007.06.005
- Phan VA, Yven C, Lawrence G, et al. (2008) In vivo sodium release related to salty perception during eating model cheeses of different textures. *Int Dairy J* 18:956–963. doi: 10.1016/j.idairyj.2008.03.015
- Pin R (2010) Fromages à pizza : économies et clean label. *Process* 1267–1268.
- Pineau N, de Bouillé AG, Lepage M, et al. (2012) Temporal Dominance of Sensations: What is a good attribute list? *Food Qual Prefer* 26:159–165. doi: 10.1016/j.foodqual.2012.04.004
- Pineau N, Schlich P, Cordelle S, et al. (2009) Temporal Dominance of Sensations: Construction of the TDS curves and comparison with time–intensity. *Food Qual Prefer* 20:450–455. doi: 10.1016/j.foodqual.2009.04.005
- Popper R, Rosenstock W, Schraidt M, Kroll BJ (2004) The effect of attribute questions on overall liking ratings. *Food Qual Prefer* 15:853–858. doi: 10.1016/j.foodqual.2003.12.004



- Prescott J, Ripandelli N, Wakeling I (2001) Binary taste mixture interactions in prop non-tasters, medium-tasters and super-tasters. *Chem Senses* 26:993–1003.
- Prieto B, Franco I, Fresno JM, et al. (2000) Picon Bejes-Tresviso blue cheese: an overall biochemical survey throughout the ripening process. *Int Dairy J* 10:159–167.
- Prieto B, Urdiales R, Franco I, et al. (1999) Biochemical changes in Picon Bejes-Tresviso cheese, a Spanish blue-veined variety, during ripening. *Food Chem* 67:415–421.
- Relkin P, Fabre M, Guichard E (2004) Effect of fat nature and aroma compound hydrophobicity on flavor release from complex food emulsions. *J Agric Food Chem* 52:6257–6263.
- Reparet J (2000) Les propriétés fonctionnelles évaluées à chaud : des fromages aux imitations fromagères. Thèse de Doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon. 1–156.
- Rétiveau A, Chambers DH, Esteve E (2005) Developing a lexicon for the flavor description of French cheeses. *Food Qual Prefer* 16:517–527.
- Richardson B, Creamer L (1973) Casein proteolysis and bitter peptides in Cheddar cheese. *NZJ Dairy >science Technol* 8:46–51.
- Richoux R, Aubert L, Roset G, et al. (2008) Combined temperature–time parameters during the pressing of curd as a tool to modulate the oiling-off of Swiss cheese. *Food Res Int* 41:1058–1064. doi: 10.1016/j.foodres.2008.07.021
- Richoux R, Roseta G, Famelart M, Kerjean J (2001) Diversité de quelques propriétés fonctionnelles à chaud de l'Emmental français. *Lait* 81:547–559.
- Ritvanen T, Lampolahti S, Lilleberg L, et al. (2005) Sensory evaluation, chemical composition and consumer acceptance of full fat and reduced fat cheeses in the Finnish market. *Food Qual Prefer* 16:479–492. doi: 10.1016/j.foodqual.2004.10.001
- Rødbotten M, Kubberød E, Lea P, Ueland O (2004) A sensory map of the meat universe. Sensory profile of meat from 15 species. *Meat Sci* 68:137–44. doi: 10.1016/j.meatsci.2004.02.016
- De Roos KB (2003) Effect of texture and microstructure on flavour retention and release. *Int Dairy J* 13:593–605. doi: 10.1016/S0958-6946(03)00108-0
- Rosett TR, Hamill T, Morris K, Klein BP (1997) Taste qualities of reduced-sodium soups as affected by serving temperature. *J Food Sci* 62:421–424. doi: 10.1111/j.1365-2621.1997.tb04017.x
- Ross CF, Weller K (2008) Effect of serving temperature on the sensory attributes of red and white wines. *J Sens Stud* 23:398–416.
- Roudot-Algaron F (1996) Le goût des acides aminés, des peptides et des protéines : exemple de peptides sapides dans les hydrolysats de caséines. *Lait* 76:36.
- Rowney MK, Roupas P, Hickey MW, Everett DW (2003) The Effect of compression, stretching, and cooking temperature on free oil formation in Mozzarella curd. *J Dairy Sci* 86:449–456.
- Rowney MK, Roupas P, Hickey MW, Everett DW (2004) Salt-induced structural changes in 1-day old Mozzarella cheese and the impact upon free oil formation. *Int Dairy J* 14:809–816. doi: 10.1016/j.idairyj.2004.02.004

- Rudan MA, Barbano DM, Joseph Yun J, Kindstedt PS (1999) Effect of fat reduction on chemical composition, proteolysis, functionality, and yield of Mozzarella cheese. *J Dairy Sci* 82:661–672. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75282-3
- Ruegg M, Eberhard P, Popplewell L, Peleg M (2007) Melting properties of cheese. *Bull FIL-IDF* 268:36–43.
- Ryffel S, Piccinali P, Bütikofer U (2008) Sensory descriptive analysis and consumer acceptability of selected Swiss goat and sheep cheeses. *Small Rumin Res* 79:80–86. doi: 10.1016/j.smallrumres.2008.07.006
- Ryynänen S, Hyvönen L, Tuorila H (2001) Perceived temperature effects on microwave heated meals and meal components. *Food Serv Technol* 1:141–148.
- Sablé S, Cottenceau G (1999) Current knowledge of soft cheeses flavor and related compounds. *J Agric Food Chem* 47:4825–36.
- Sadat-Mekmene L, Richoux R, Aubert-Frogerais L, et al. (2013) *Lactobacillus helveticus* as a tool to change proteolysis and functionality in Swiss-type cheeses. *J Dairy Sci* 96:1455–70. doi: 10.3168/jds.2012-6179
- Saint-Eve A (2006) Compréhension de la libération et de la perception des composés d'arôme en condition de consommation : cas du yaourt brassé aromatisé. Thèse de Doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon. 1–205.
- Saint-Eve A, Lauerjat C, Magnan C, et al. (2009) Reducing salt and fat content: Impact of composition, texture and cognitive interactions on the perception of flavoured model cheeses. *Food Chem* 116:167–175.
- Salles C (2000) Evaluation of taste compounds in water-soluble extract of goat cheeses. *Food Chem* 68:429–435. doi: 10.1016/S0308-8146(99)00213-7
- Salles C, Engel E, Nicklaus S, et al. (2005) Formation, release and perception of taste and aroma compounds from cheeses as a function of matrix properties. *Process React. Flavors, ACS Sympos.* pp 192–207
- Salles C, Septier C, Roudot-Algaron F, et al. (1995) Sensory and Chemical Analysis of Fractions Obtained by Gel Permeation of Water-Soluble Comte Cheese Extracts. *J Agric Food Chem* 43:1659–1668. doi: 10.1021/jf00054a046
- Salvat-Brunaud D, Maubois JL, Graët Y Le, et al. (1995) Extraction et analyse de la phase aqueuse de l'emmental à 4 stades d'affinage. *Lait* 75:239–249.
- Sánchez M, Beriain MJ, Carr TR (2012) Socio-economic factors affecting consumer behaviour for United States and Spanish beef under different information scenarios. *Food Qual Prefer* 24:30–39. doi: 10.1016/j.foodqual.2011.08.008
- Sato M (1967) Gustatory response as a temperature-dependent process. *Contrib Sens Physiol* 2:223–251.
- Schifferstein HNJ, Frijters JER (1991) The perception of the taste of KCl, NaCl and quinineHCl is not related to PROP-sensitivity. 16:303–317.
- Schiffman SS, Engelhard HH (1976) Taste of dipeptides. *Physiol Behav* 17:523–535. doi: 10.1016/0031-9384(76)90117-7

- Schiffman SS, Gatlin LA, Frey AE, et al. (1994) Taste perception of bitter compounds in young and elderly persons: Relation to lipophilicity of bitter compounds. *Neurobiol Aging* 15:743–750. doi: 10.1016/0197-4580(94)90057-4
- Schiffman SS, Sattely-Miller EA, Graham BG, et al. (2000) Effect of temperature, pH, and ions on sweet taste. *Physiol Behav* 68:469–81.
- Schiffman SS, Sennewald K, Gagnon J (1981) Comparison of taste qualities and thresholds of D- and L-amino acids. *Physiol Behav* 27:51–9.
- Scott TR, Verhagen J V (2000) Taste as a factor in the management of nutrition. *Nutrition* 16:874–885.
- Settle RG, Meehan K, Williams GR, et al. (1986) Chemosensory Properties of Sour Tastants. *Physiol Behav* 36:619–623.
- Sheehan JJ, Guinee TP (2004) Effect of pH and calcium level on the biochemical, textural and functional properties of reduced-fat Mozzarella cheese. *Int Dairy J* 14:161–172. doi: 10.1016/S0958-6946(03)00167-5
- Smit G, Smit BA, Engels WJM (2005) Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products. *FEMS Microbiol Rev* 29:591–610. doi: 10.1016/j.femsre.2005.04.002
- Sommerer N, Garem A, Mollé D, et al. (1998) Isolation of a peptidic fraction from the goat cheese water-soluble extract by nanofiltration for sensory evaluation studies. *Dev Food Sci* 40:207–217.
- Sousa M (2001) Advances in the study of proteolysis during cheese ripening. *Int Dairy J* 11:327–345. doi: 10.1016/S0958-6946(01)00062-0
- Sowalsky RA, Noble AC (1998) Comparison of the effects of concentration, pH and anion species on astringency and sourness of organic acids. *Chem Senses* 23:343–9.
- Stampanoni C (1993) The “Quantitative Flavor Profiling Technique.” *Perfumer&Flavorist* 18:19–24.
- Stampanoni CR, Noble C (1991) Perception of selected taste and texture attributes of cheese analogs : a scalar study. *J Texture Stud* 22:367–380.
- Stein LJ, Nagai H, Nakagawa M, Beauchamp GK (2003) Effects of repeated exposure and health-related information on hedonic evaluation and acceptance of a bitter beverage. *Appetite* 40:119–129. doi: 10.1016/S0195-6663(02)00173-3
- Stevens DA (1996) Individual differences in taste perception. *Food Chem* 56:303–311. doi: 10.1016/0308-8146(96)00027-1
- Stevens DA, Lawless HT (1981) Age-related changes in flavor perception. *Appetite* 2:127–136. doi: 10.1016/S0195-6663(81)80006-2
- Stevens JC, Cruz LA, Hoffman JM, Patterson MQ (1995) Taste Sensitivity and Aging: High Incidence of Decline Revealed by Repeated Threshold Measures. *Chem Senses* 20:451–459.
- Stevens JC, Traverzo a (1997) Detection of a target taste in a complex masker. *Chem Senses* 22:529–34.
- Stone H, Sidel J, Oliver S, et al. (1974) Sensory evaluation by Quantitative Descriptive Analysis. *Food Technol* 28:24–34.

- Symoneaux R, Galmarini MV, Mehinagic E (2012) Comment analysis of consumer's likes and dislikes as an alternative tool to preference mapping. A case study on apples. *Food Qual Prefer* 24:59–66. doi: 10.1016/j.foodqual.2011.08.013
- Szczesniak A. (1963) Classification of textural characteristics. *J Food Sci* 28:385–389.
- Taborda G, Molina E, Martinez-Castro I, et al. (2003) Composition of the water-soluble fraction of different cheeses. *J Agric Food Chem* 51:270–276.
- Talavera K, Ninomiya Y, Winkel C, et al. (2007) Influence of temperature on taste perception. *Cell Mol Life Sci* 64:377–81. doi: 10.1007/s00018-006-6384-0
- Thébaud J (2012) Sodium libre. Rapport Intermédiaire. WP6. Projet NUTRIPAN. 1–18.
- Thomas A, Visalli M, Cordelle S, Schlich P (2015) Temporal drivers of Liking. *Food Qual Prefer* 40:365–375. doi: 10.1016/j.foodqual.2014.03.003
- Thomas-Danguin T, Maitrepierre E, Sigoillot M, et al. (2012) Les molécules odorantes, sapides et trigéminales. *Odorat goût La Neurol. des sens Chim. aux Appl., Quae. Versailles*, pp 29–38
- Tominaga M, Caterina MJ (2004) Thermosensation and pain. *J Neurobiol* 61:3–12. doi: 10.1002/neu.20079
- Tordoff MG (1971) Some Basic Psychophysics of Calcium Salt Solutions. *Diabetes* 417–424.
- Törnwall O, Silventoinen K, Keskitalo-Vuokko K, et al. (2012) Genetic contribution to sour taste preference. *Appetite* 58:687–94. doi: 10.1016/j.appet.2011.12.020
- Tournier C, Sulmont-Rossé C, Guichard E (2007) Flavour perception : aroma , taste and texture interactions. *Food* 1:246–257.
- Tournier C, Sulmont-Rossé C, Sémon E, et al. (2009) A study on texture–taste–aroma interactions: Physico-chemical and cognitive mechanisms. *Int Dairy J* 19:450–458. doi: 10.1016/j.idairyj.2009.01.003
- Tunick MH, Malin EL, Smith PW, et al. (1993) Proteolysis and Rheology of Low Fat and Full Fat Mozzarella Cheeses Prepared from Homogenized Milk. *J Dairy Sci* 76:3621–3628.
- Urbach G (1997) The flavour of milk and dairy products: II. Cheese: contribution of volatile compounds. *Int J Dairy Technol* 50:79–88.
- Urdapilleta I, Ton Nu C, Saint Denis C, Huon de Kermadec F (2001) Comportements alimentaires : état des connaissances. *Trait. d'évaluation sensorielle. Asp. Cogn. métrologiques des perceptions*, Dunod. Paris, pp 156–167
- Varela P, Pintor A, Fiszman S (2014) How hydrocolloids affect the temporal oral perception of ice cream. *Food Hydrocoll* 36:220–228. doi: 10.1016/j.foodhyd.2013.10.005
- Ventanas S, Mustonen S, Puolanne E, Tuorila H (2010) Odour and flavour perception in flavoured model systems: Influence of sodium chloride, umami compounds and serving temperature. *Food Qual Prefer* 21:453–462. doi: 10.1016/j.foodqual.2009.11.003
- Ventura AK, Worobey J (2013) Early influences on the development of food preferences. *Curr Biol* 23:R401–8. doi: 10.1016/j.cub.2013.02.037

- Verma P, Mittal S, Ghildiyal A, et al. (2007) Salt preference: age and sex related variability. *Indian J Physiol Pharmacol* 51:91–5.
- Vickers Z., Christensen C., Fahrenholtz S., Gengler I. (1993) Effect of questionnaire design and the number of samples tasted on hedonic ratings. *J Sens Stud* 8:189–200.
- Vigneau E, Qannari EM (2002) Segmentation of consumers taking account of external data. A clustering of variables approach. *Food Qual Prefer* 13:515–521. doi: 10.1016/S0950-3293(02)00048-4
- Voilley A, Etiévant P (2006) *Flavour in food*, CRC Press. 452 p.
- Wang H-H, Sun D-W (2004) Evaluation of the oiling off property of cheese with computer vision: Influence of cooking conditions and sample dimensions. *J Food Eng* 61:57–66.
- Wang W, Kindstedt PS, Gilmore JA, Guo MR (1998) Changes in the Composition and Meltability of Mozzarella Cheese During Contact with Pizza Sauce. *J Dairy Sci* 81:609–614.
- Wendin K, Solheim R, Allmere T, Johansson L (1997) Flavour and texture in sour milk affected by thickeners and fat content. *Food Qual Prefer* 8:281–291.
- Westad F, Hersleth M, Lea P (2004) Strategies for consumer segmentation with applications on preference data. *Food Qual Prefer* 15:681–687. doi: 10.1016/j.foodqual.2004.04.004
- Wilson T., Schooler J. (1991) Thinking too much : Introspection can reduce the quality of preferences and decisions. *J Pers Soc Psychol* 60:181–192.
- Wise P., Breslin PA. (2013) Individual differences in sour and salt sensitivity: detection and quality recognition thresholds for citric acid and sodium chloride. *Chem Senses* 38:333–42. doi: 10.1093/chemse/bjt003
- Woo A., Kollodge S, Lindsay R. (1984) Quantification of major free fatty acids in several cheese varieties. *J Dairy Sci* 67:874–878. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(84)81380-6
- Yeomans M, Chambers L, Blumenthal H, Blake A (2008) The role of expectancy in sensory and hedonic evaluation: The case of smoked salmon ice-cream. *Food Qual Prefer* 19:565–573.
- Yoshida R, Miyauchi A, Yasuo T, et al. (2009) Discrimination of taste qualities among mouse fungiform taste bud cells. *J Physiol* 587:4425–39. doi: 10.1113/jphysiol.2009.175075
- Young ND, Drake M, Lopetcharat K, McDaniel MR (2004) Preference mapping of Cheddar cheese with varying maturity levels. *J Dairy Sci* 87:11–9. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73136-7

## Webographie

<http://www.inao.gouv.fr/> Site de l'INAO. Consulté le 13 octobre 2011

<https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/index.htm>. Anses Composition nutritionnelle des Aliments Table Ciqua 2013. Consulté le 25 mars 2013

## INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 : Aire géographique de fabrication des fromages à pâte persillée (source : <a href="http://www.inao.gouv.fr/">http://www.inao.gouv.fr/</a> ) .....	22
Tableau 2 : Caractéristiques sensorielles des fromages à pâte persillée (extrait des cahiers des charges ; source : <a href="http://www.inao.gouv.fr/">http://www.inao.gouv.fr/</a> ).....	33
Tableau 3 : Composition physico-chimique des fromages à pâte persillée issue de différentes sources .....	34
Tableau 4 : Récepteurs mis en jeu selon les saveurs (d'après Chandrashekar et al. 2006) .....	38
Tableau 5 : Exemple de molécules aromatiques responsables des saveurs « clé » de 4 types de fromages (Smit, Smit, & Engels, 2005) .....	46
Tableau 6 : Utilisation de différents fromages en tant qu'ingrédient dans des préparations culinaires (Lucey, 2008) .....	51
Tableau 7 : Propriétés fonctionnelles principales des fromages associées d'une définition et des techniques permettant de mesurer ces paramètres (Kapoor and Metzger 2004) .....	52
Tableau 8 : Protocoles utilisés pour mesurer l'étalement selon différents auteurs .....	53
Tableau 9 : Relation entre les descripteurs sensoriels et les propriétés fonctionnelles (Reparet 2000) .....	55
Tableau 10 : Préférences selon la catégorie de fromage, l'âge et le sexe (CNIEL, 2012).....	63
Tableau 11 : Calcul du seuil avec la méthode BET (Norme ISO 13301) .....	65
Tableau 12 : Exemples de protocoles de dégustation sur les fromages .....	68
Tableau 13 : Choix des stades de commercialisation .....	86
Tableau 14 : Plan d'entraînement du panel de dégustation .....	93
Tableau 15 : Gamme de concentrations (C1 à C5) réalisée pour la Leucine et le chlorure de sodium pour déterminer le seuil de détection .....	94
Tableau 16: Mode de présentation des échantillons de fromages dégustés à froid ou à chaud selon les différentes expérimentations.....	102
Tableau 17 : Moyenne et écart-type des points de goutte et points de ramollissement des différentes catégories de fromages à pâte persillée.....	103
Tableau 18 : Temps de fonte évalué en secondes pour chaque température selon les différentes catégories de fromages à pâte persillée.....	104
Tableau 19 : Sélection des températures de chauffage et argumentaires associés.....	107
Tableau 20. Caractéristiques des fromages testés par session. ....	143
Tableau 21 : Liste des descripteurs utilisés pour évaluer les fractions solubles et définitions associées .....	145
Tableau 22 : Synthèse des ANOVAs (p-values) réalisées sur les descripteurs évalués sur les fromages à froid et à chaud ( $\alpha = 5\%$ ).....	148
Tableau 23 : P-value issues des ANOVAs réalisées sur les 11 descripteurs de saveur ( $\alpha = 5\%$ )	153
Tableau 24 : Moyenne des notes d'intensité pour chaque descripteur de saveur selon les deux conditions de traitement. Les moyennes accompagnées par des lettres différentes (sur une même colonne) indiquent qu'il y a une différence significative à $p < 0,05$ . (O = odeur ; A = arôme) ....	153
Tableau 25 : Pourcentage correct de classement issus de la validation croisée sur les 4 fromages à froid ( $T = 20^{\circ}\text{C}$ ) et à chaud ( $T = 200^{\circ}\text{C}$ ) .....	155
Tableau 26 : Moyennes et écarts-types des paramètres physico-chimiques de la Fourme d'Ambert SA à froid en fonction du stade de commercialisation ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ). S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours et S3 = stade à 77 jours.....	168
Tableau 27 : Moyennes et écarts-types des paramètres physico-chimiques des fromages FA en fonction du stade de commercialisation et des conditions de température (f = froid ; $20^{\circ}\text{C}$ et c = chaud ; $200^{\circ}\text{C}$ ) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours et S3 = stade à 77 jours.....	170



Tableau 28 : Moyennes et écarts-types des paramètres physico-chimiques des fractions solubles issues du fromage SA à froid en fonction du stade de commercialisation (T =20°C). S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours et S3 = stade à 77 jours.....	171
Tableau 29 : Moyennes et écarts-types des paramètres physico-chimiques des fractions solubles issues du fromages SA en fonction du stade de commercialisation et des conditions de température. (f = froid ; 20°C et c = chaud ; 200°C) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours et S3 = stade à 77 jour .....	173
Tableau 30: Caractéristiques des fromages testés par session au cours du test consommateurs ...	180
Tableau 31 : Description du panel consommateur .....	184
Tableau 32 : Caractérisation des groupes obtenus sur les notes d'appréciation globale .....	193
Tableau 33 : Tableau issu de l'analyse de variance pour les 3 classes de consommateurs (C1, C2 et C3) issu de la cartographie des préférences .....	195
Tableau 34 : Corrélations significatives (issues de la matrice de corrélation de l'ACP) entre l'appréciation globale de chacune des classes et les attributs sensoriels .....	197
Tableau 35 : Moyennes des notes d'intensité des différentes saveurs pour chaque fromage (SA et SB) et pour chaque classe de consommateurs .....	202
Tableau 36 : Comparaison des notes d'intensité issues de la méthode Spectrum™ par rapport à l'intensité déclarée et ressentie par les consommateurs.....	205
Tableau 37 : Nombre d'items sélectionnés après l'analyse factorielle exploratoire par pôle gustatif, consistance interne (alpha de Cronbach) et détail des items.....	207
Tableau 38 : Résultats de l'ANOVA (p-value) à 1 facteur réalisé sur les classes de consommateurs .....	207
Tableau 39 : Caractéristiques significatives pour chaque classe selon les fréquences de consommation de fromages et les données sociodémographiques .....	209

## INDEX DES FIGURES

Figure 1 : Rôle du sel dans le fromage (Guinee 2004) .....	25
Figure 2 : Diagramme de fabrication du Bleu des Causses et du Bleu d'Auvergne .....	29
Figure 3 : Diagramme de fabrication de la Fourme de Montbrison et de la Fourme d'Ambert .....	31
Figure 4 : Mécanismes de transduction pour les saveurs amère, sucrée et umami (A), la saveur acide (B) et la saveur salée (C) (Chaudhari and Roper 2010) .....	37
Figure 5 : Présentation des interactions entre les propriétés de l'aliment, le processus oral et les perceptions sensorielles (Foster et al. 2011) .....	42
Figure 6 : Moyenne des notes d'acceptabilité de 3 boissons selon la température de service (en degré Fahrenheit)(Cardello et al. 1982) .....	57
Figure 7 : Facteurs influençant les préférences alimentaires (Khan MA, 1981) .....	59
Figure 8 : Consommation de fromages des ménages en 2011 selon leurs usages (Lemoine and Renard, 2012 d'après le CNIEL) .....	62
Figure 9 : Démarche expérimentale .....	82
Figure 10 : Schéma de préparation et d'extraction des phases protéiques et solubles (FA= Fourme d'Ambert).....	89
Figure 11 : Seuil de détection moyen et individuel évalué à partir de la méthode 3-AFC : a) Saveur salée (NaCl - 20°C) ; b) saveur salée (NaCl - 50°C) .....	95
Figure 12 : Seuil de détection moyen et individuel évalué à partir de la méthode 3-AFC : a) saveur amère (Leucine- 20°C) ; b) saveur amère (Leucine - 50°C) .....	97
Figure 13 : Moyennes des intensités perçues dans la matrice fromagère après ajout de la leucine - 20°C .....	99
Figure 14 : Moyennes des intensités perçues dans la matrice fromagère après ajout de la leucine - 50°C .....	99
Figure 15 : Moyennes des intensités perçues dans la matrice fromagère après ajout du chlorure de sodium - 20°C .....	100
Figure 16 : Moyennes des intensités perçues dans la matrice fromagère après ajout du chlorure de sodium - 50°C .....	100
Figure 17 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les données des profils sensoriels des Fourmes d'Ambert.....	105
Figure 18 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les données des profils sensoriels des Fourmes de Montbrison.....	106
Figure 19 : Moyennes et écarts-types des intensités perçues dans les fromages entiers (FE) (a) et dans les fractions solubles (FS) (b) ; SPN = Sans pince-nez, PN = Avec pince-nez ; NS = non significatif.....	109
Figure 20 : Echantillonnage des fromages pour la réalisation des analyses chimiques et sensorielles .....	142
Figure 21: Moyenne des notes d'intensité et écarts-types sur les fromages SA et SB évalués à froid (T = 20°C) ; O = Odeur et A = Arôme; * ; ** ; *** significatif à p<0,05 ; 0,01 et 0,001 ; NS = Non Significatif.....	150
Figure 22 : Moyennes des notes d'intensités et écarts-types sur les fromages SA et SB à chaud (T = 200°C), O = Odeur et A = Arôme; * ; ** ; *** significatif à p<0,05 ; 0,01 et 0,001 NS : Non Significatif.....	151
Figure 23 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les données des profils sensoriels des fromages à froid et à chaud c = chaud ; f = froid ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stades à 77 jours .....	152
Figure 24: Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisées sur les attributs de flaveur des fromages à froid et à chaud. c = chaud ; f = froid ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours.....	154



Figure 25 : Carte factorielle (F1-F2) issue de l'AFD réalisée sur les descripteurs de saveurs des fromages SA et SB selon les deux conditions de température (20°C et 200°C).....	155
Figure 26 : Moyennes des notes d'intensité et écarts-types pour chaque descripteur de saveur pour les fromages SA à T = 20°C et à T = 200°C à 35 jours ; *, **, *** significatif à p<0,05 ; 0,01 et 0,001 et NS = Non Significatif.....	158
Figure 27 : Evolution temporelle de la dominance des sensations du fromage à froid (a) et à chaud (b) au stade de commercialisation de 35 jours (A = Arôme) .....	159
Figure 28: Courbe de différences entre les fromages SA à froid et à chaud à 35 jours (A = Arôme) .....	160
Figure 29 : Biplots issus des ACP (F1-F2) réalisées à partir des données des scores DTS (a) et du profil (b) sur les fromages SA et SB à froid. F = froid ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours .....	161
Figure 30 : Biplots issus des ACP (F1-F2) réalisées à partir des données des scores DTS (a) et du profil (b) sur les fromages SA et SB à chaud. c = chaud ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stades à 77 jours.....	161
Figure 31 : Moyenne des notes d'intensité et écarts-types des descripteurs pour les fromages entiers SA à 35 jours et pour les fractions solubles issues de ces mêmes fromages à froid (20°C) ; *, **, *** significatif à p<0,05 ; 0,01 et 0,001 et NS = Non Significatif.....	164
Figure 32 : Moyennes des notes et écarts-types des descripteurs selon les deux conditions de température (20°C et 200°C) pour les fromages entiers SA ; *, **, *** significatif à p < 0,05 ; 0,01 et 0,001 et NS = Non Significatif.....	166
Figure 33: Moyennes des notes et écarts-types des descripteurs selon les deux conditions de température (20°C et 200°C) pour la fraction soluble issue des fromages SA (T = 20°C et T = 200°C) ; s = soluble ; NS = Non significatif.....	167
Figure 34 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les données des fractions solubles à froid et à chaud (f = froid; c = chaud) S1 = 35 jours ; S2 = 56 jours et S3 = stade à 77 jours .....	168
Figure 35 : Représentation fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les paramètres physico-chimiques des fromages entiers à froid et à chaud (f = froid, 20°C ; c = chaud, 200°C) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours et S3 = stade à 77 jours ; MS = matière sèche ; MG = matière grasse ; NT = azote total ; NS = azote soluble .....	171
Figure 36 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les paramètres physico-chimiques des fractions solubles à froid et à chaud. f = froid ; c = chaud ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours. MS = matière sèche ; NT = azote total ; NS = azote soluble .....	174
Figure 37 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) réalisée sur les paramètres physico-chimiques et gustatifs des fractions solubles à froid et à chaud f = froid ; c = chaud ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours ; MS = matière sèche, NT = azote total ; NS = asote soluble .....	176
Figure 38 : Déroulement et organisation des séances du test consommateurs .....	182
Figure 39 : Moyennes des notes d'appréciation visuelle et globale et écarts-types des fromages dégustés à froid (T=20°C) et à chaud (T=200°C). Pour chaque appréciation, la moyenne associée à des lettres identiques (a, b) ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey .....	187
Figure 40 : Moyennes des notes d'appréciation visuelle et globale et écarts-types des fromages SA et SB dégustés selon les deux conditions de traitement (T = 20°C ; T = 200°C). Pour chaque appréciation, la moyenne associée à des lettres identiques (a,b) ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey .....	187
Figure 41 : Distribution des notes d'appréciation globale des fromages SA dégustés à froid (T=20°C) et à chaud (T=200°C) .....	188
Figure 42 : Distribution des notes d'appréciation globale des fromages SB dégustés à froid (T = 20°C) et à chaud (T = 200°C) .....	188

Figure 43 : Moyennes des notes d'intensité des saveurs et écarts-types pour les fromages à froid (T = 20°C) et les fromages à chaud (T = 200°C). Pour chaque descripteur, la moyenne associée à des lettres identiques (a, b) ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey .....	189
Figure 44 : Comparaison des notes d'intensité des saveurs pour chaque type de fromages selon les deux conditions de température (a) = fromage SA ; (b) = fromage SB ; f = froid (T = 20°C) ; c = Chaud (T = 200°C). Pour chaque descripteur, la moyenne associée à des lettres identiques (a, b) ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey .....	190
Figure 45 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) issue de l'ACP (F1-F2) sur l'ensemble des appréciations hédoniques (App). c = chaud ; f = froid ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours .....	191
Figure 46 : Dendrogramme issu de la CAH réalisée sur les notes d'appréciation globale (centrés et réduites) obtenues pour les fromages à froid et à chaud .....	192
Figure 47 : Moyennes des notes d'appréciation et écarts-types des fromages à froid et à chaud selon les 3 classes de consommateurs (les moyennes des produits associés à la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (ANOVA par classe – comparaison multiple des moyennes). f = froid (T = 20°C) ; c = chaud (T = 200°C).....	194
Figure 48 : Cartographie externe des préférences incluant les classes de consommateurs issues de la CAH. f = froid (T = 20°C) ; c = chaud (T = 200°C) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 55 jours ; S3 = stade à 77 jours .....	196
Figure 49 : Graphique issu de l'AFC réalisée sur les qualités citées par les consommateurs pour décrire les fromages à froid et à chaud. f = froid (T=20°C) ; c = chaud (T=200°C) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours .....	198
Figure 50 : Graphique issu de l'AFC réalisée sur les défauts cités par les consommateurs pour décrire les fromages à froid et à chaud. SA = fromage SA ; SB = fromage FB ; f = froid (T=20°C) ; c = chaud (T=200°C) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 56 jours ; S3 = stade à 77 jours.....	199
Figure 51 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) par ACP (F1-F2) réalisés sur les fréquences des termes cités par les consommateurs. En bleu, sont positionnées les préférences des classes de consommateurs en tant que variables supplémentaires. SA = fromage SA ; SB = fromage SB ; f = froid (T = 20°C) ; c = chaud (T = 200°C) ; S1 = stade à 35 jours ; S2 = stade à 55 jours ; S3 = stade à 77 jours .....	200
Figure 52 : Représentation des fromages (a) et des variables (b) par ACP (F1-F3) réalisés sur les fréquences des termes cités par les consommateurs. En bleu, sont positionnées les préférences des classes de consommateurs en tant que variables supplémentaires. SA = fromage SA ; SB = fromage SB. f = froid (T = 20°C) ; c = chaud (T = 200°C) ; S1 =stade à 35 jours ; S2=stade à 55 jours ; S3 = stade à 77 jours.....	200
Figure 53 : Dendrogramme issu de la CAH réalisée sur les notes d'intensité gustatives ressentie par les consommateurs dans certains aliments.....	204

# Abstract

PDO cheeses through their specifications are recognized for a quality in relation to a geographical origin, technical know-how, and a typical gustative quality. Despite a good consumption of PDO cheeses, the marketed volumes decreased for most of them. In order to make them more attractive, some cheeses as Blue cheeses could be used as “cheeses ingredient”. Cheeses are usually consumed at the end of a meal but a new trend is emerging: cheeses are more and more used in culinary preparations, both hot (pizza, gratin, sauce) and cold (sandwiches, salads).

The main objective of this study was to firstly highlight the impact of heating on sensory properties of French PDO Blue cheeses and more particularly Fourme d'Ambert. The water-soluble fraction which plays an important role in the favour of cheeses was secondly studied in order to evaluate the impact of heating on this extract. The last objective consisted in measuring the consumers liking towards cold and heated cheeses. Therefore, sensory and biochemical methods were performed to describe crude cheeses and liking.

The first study highlighted the impact of heating on both textural properties and flavour of four PDO blue-type cheeses. The main results showed that PDO cheeses present different culinary properties and thus are compatible with a use into hot preparations. The first step allowed to select a model cheese: Fourme d'Ambert. The second step consisted in studying the impact of heating on the crude cheeses and on the water-soluble fraction. In parallel, the gross composition was performed on soluble fractions and cheeses according to heating treatment. Although no treatment difference was observed on the water-soluble fraction gustatory profile, a slight difference was showed on certain chemical constituents between the water-soluble extracts. The last step was focused on the consumers liking towards cold and heated cheeses. The results showed that cheeses were much appreciated whatever heating treatments highlighting a slightly preference towards heated cheeses. Moreover, 3 groups of consumers were formed based on different preferences. One group preferred heated cheeses while two others groups preferred cold cheeses. Consumers' group preferences were explained by means of sensory profiles and open-ended questions responses.

Finally, this study shows the opportunities of new culinary uses for Blue cheeses. Sensory methods application had allowed to provide detailed information on heating properties of blue cheeses. In addition, consumers' acceptance reinforce that PDO cheeses can be used in cold or heated preparations.

**Key-words: Heated cheeses, PDO Blue Cheeses, sensory analysis, Consumer liking, water-soluble extract**

# Résumé

Les fromages d'«Appellation d'Origine Protégée» (AOP) présentant un cahier des charges précis sont garants d'un savoir-faire, d'une tradition et d'un lien avec le terroir et sont également reconnus pour leurs qualités organoleptiques. Malgré une bonne implantation au niveau du marché et une consommation non négligeable, certains fromages AOP voient leurs ventes baisser. Pour dynamiser certains de ces fromages, notamment les fromages à pâte persillée, leur utilisation comme « fromages ingrédients » s'avèrerait pertinente. Ce nouveau segment, très porteur pour les fromages industriels, consiste à les utiliser dans des préparations culinaires aussi bien à chaud qu'à froid. L'objectif des travaux de cette thèse est de réaliser d'une part un focus sur les propriétés sensorielles des fromages à pâte persillée AOP du Massif central, induites par le chauffage et plus particulièrement de la Fourme d'Ambert, en étudiant les fractions solubles de ces fromages, d'un point de vue biochimique et sensoriel, et d'autre part de connaître les préférences des consommateurs vis-à-vis des fromages à chaud.

Dans un premier temps, un screening sur le comportement à chaud de différentes catégories de fromages à pâte persillée a conduit à identifier des différences texturales et gustatives et de ce fait, à catégoriser les fromages selon leurs aptitudes culinaires. Ce positionnement sensoriel a ainsi permis de sélectionner un « fromage modèle » : la Fourme d'Ambert. Dans une seconde phase, l'étude des fractions solubles a confirmé sa contribution relative dans la perception gustative des fromages à pâte persillée. Toutefois, aucune différence sensorielle n'est observée sur les fractions suite au traitement thermique malgré quelques différences sur la teneur de certains composés sapides. Enfin, la dernière phase a consisté à identifier les préférences des consommateurs vis-à-vis de la Fourme d'Ambert à froid et à chaud. Quelle que soit la température, le fromage est bien apprécié par les consommateurs. La segmentation des consommateurs révèle des perceptions différentes selon trois groupes : un groupe avec des préférences pour des fromages très typés, à l'inverse, un groupe ayant une attirance pour les fromages ayant des saveurs moins prononcées et un dernier, axé sur les préférences des fromages à chaud. Corrélées aux profils sensoriels, aux commentaires libres des consommateurs et à leurs attentes, certaines variables sensorielles ou comportementales ont pu expliquer ces différences de préférences. Ces résultats montrent l'intérêt de l'usage de certains fromages à pâte persillée AOP en tant que « fromages ingrédients » présentant de bonnes aptitudes culinaires, par leurs propriétés fonctionnelles et gustatives. L'acceptation des fromages à chaud par les consommateurs renforce le fait que les fromages AOP peuvent être utilisés aussi bien à froid qu'à chaud, permettant ainsi l'innovation dans la filière.

**Mots-clés : Fromages à chaud, Fromages à pâte persillée AOP, Préférences des consommateurs, analyse sensorielle, fraction soluble**